

Arttu Sjöstedt

**Suljettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihdon
energiatehokkuus ja sisäilman laatu
suuntapainepuhallinjärjestelmällä toteutettuna**

Insinööritö 4.10.2010

Ohjaaja: LVI-insinööri Antti Kontkanen
Ohjaava opettaja: lehtori Hanna Sulamäki

Tekijä	Arttu Sjöstedt
Otsikko	Suljettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihdon energiatehokkuus ja sisäilman laatu suuntapainepuhallinjärjestelmällä toteutettuna
Sivumäärä	61 sivua
Aika	4.10.2010
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	LVI-insinööri Antti Kontkanen
Ohjaava opettaja	lehtori Hanna Sulamäki
<p>Insinööriyössä perehdytään suuntapainepuhallinjärjestelmiin suljettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihtojärjestelmänä. Työtä varten tutkittiin neljää markettien yhteydessä sijaitsevaa autopaikoitustilaa ja kerättiin dataa kohteiden automaatiojärjestelmistä. Kerätyn datan perusteella laskettiin autopaikoitustilaan osallistuvien puhaltimien energiankulutusta ja arvioitiin autopaikoitustilojen ilman laatua lämpötila- ja pitoisuusmittauksiin perustuen.</p> <p>Työn tarkoituksena oli osoittaa, että suuntapainepuhallinjärjestelmä on energiatehokas ja nykyaikainen vaihtoehto kanavoidulle ilmanvaihtojärjestelmälle suljetuissa autopaikoitustiloissa.</p> <p>Kohteisiin tutustuttiin käymällä kohteissa ja haastattelemalla kohteiden huoltomiehiä. Insinööriyön tilannut yritys on toimittanut suuntapainepuhallintimet kolmeen kohteeseen, joten tätä kautta saatiin kerättyä tarvittavaa tietoa järjestelmien rakenteista. Lopulliset mittaustulokset kerättiin kiinteistövalvomoista ja tulokset käsiteltiin insinööriyöhön taulukkolaskentaohjelmien avulla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin arvokasta tietoa järjestelmien toiminnoista ja näyttöä suuntapainepuhallinjärjestelmien toimivuudesta pitkäaikaisen seurantajakson aikana. Suuntapainepuhallinjärjestelmä osoittautui oikein suunniteltuna energiatehokkaaksi ratkaisuksi autopaikoitustilan ilmanvaihtoon. Lisäksi saatiin arvokasta tietoa autopaikoitustilan yleisilmanvaihdon järjestämisvaihtoehtoista. Työn tulosten avulla voidaan kehittää tulevaisuudessa toteutettavia järjestelmiä entistä energiatehokkaammiksi.</p>	
Hakusanat	suuntapainepuhallin, autopaikoitustila, ilmanvaihto, energiatehokkuus

Author Title	Arttu Sjöstedt The energy efficiency and air quality of enclosed car parks with jet thrust fan ventilation systems
Number of Pages Date	61 4 th October 2010
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Antti Kontkanen, Applications Manager Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>This final year project studied the use of jet thrust fan systems in the ventilation of enclosed car parks. Four car parks, all in connection to large supermarkets, were chosen for this study. Of these four, three rely on a jet thrust system as their ventilation system while one has a ducted system. This thesis covers the rules and regulations governing the construction of new enclosed car parks in Finland, the differences in the ventilation systems chosen for this project and the findings made through collecting data from the automation systems used in these car parks.</p> <p>The purpose of this project was to show that a jet thrust fan system is superior in energy efficiency and air quality compared to ducted system. Research was conducted through interviews with the service people at the sites and by studying material produced at the planning stages of construction projects. Finally, data from the building automation systems were collected. The energy consumption of the fans, connected to the ventilation systems in the car parks was calculated using a spreadsheet program based on the collected data.</p> <p>Valuable information concerning the ventilation systems was discovered by looking at the long term data trends collected. Based on the results it is fair to say that the jet thrust systems performed well against the ducted system when comparing energy efficiency and air quality in enclosed car parks.</p> <p>The results discovered during the course of this final year project can be used in the future to design and maintain even more efficient car park systems.</p>	
Keywords	jet thrust system, enclosed car park, ventilation, energy efficiency

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	5
2 Suljetut autopaikoitustilat ja niiden ilmanvaihto	6
2.1 Lainsäädäntö ja suunnitteluperusteet	6
2.2 Sisäilman laatuvaatimukset	7
3 Suuntapainepuhallin	8
4 Järjestelmäkuvaukset	11
4.1 Prisma Itäkeskus, suuntapainepuhallinjärjestelmä	11
4.1.1 Kohde	12
4.1.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen	14
4.1.3 Mitta-anturit	15
4.1.4 Rakennusautomaatio	15
4.2 Prisma Kannelmäki, suuntapainepuhallinjärjestelmä	16
4.2.1 Kohde	16
4.2.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen	19
4.2.3 Mitta-anturit	19
4.2.4 Rakennusautomaatio	20
4.3 Prisma Linnainmaa, suuntapainepuhallinjärjestelmä	20
4.3.1 Kohde	21
4.3.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen	23
4.3.3 Mitta-anturit	23
4.3.4 Rakennusautomaatio	24
4.4 Prisma Viikki, kanavoitu järjestelmä	26
4.4.1 Kohde	26
4.4.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen	29
4.4.3 Mitta-anturit	29
4.4.4 Rakennusautomaatio	29
5 Seurantamittaukset	31
5.1 Mittausperiaatteet	31
5.2 Mitattavat suureet	31
6 Mittaustulokset	33
6.1 Autopaikoitustilojen käyttöaste	33
6.2 Puhaltimien käyntiajat	34
6.3 Puhaltimien energiankulutus	36
6.4 Ilman lämpötila ja laatu	39
7 Tulosten analysointi	46
7.1 Järjestelmien energiankulutusten vertailu	46
7.2 Sisäilman laadun arviointi	48
7.3 Järjestelmän toimivuus kokonaisuutena	50
8 Johtopäätökset ja yhteenveto	54
Lähteet	56
Liitteet	
Liite 1: Esimerkki laskentataulukosta	58

1 Johdanto

Insinöörityössä perehdytään suljettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihtojärjestelmiin ja etsitään eroavaisuuksia kanavoitujen järjestelmien ja suuntapainepuhallinjärjestelmien välillä. Työ tehdään perehtymällä neljän eri kohteen autopaikoitustilaan, joista kolmen ilmanvaihto on toteutettu suuntapainepuhallinjärjestelmällä ja yksi on toteutettu kanavoidulla Dirivent-järjestelmällä. Kohteista selvitetään järjestelmien toimintaperiaatteet ja kerätään tarvittavaa dataa järjestelmän luotettavaa arviointia varten. Mittausdata kerätään kohteiden kiinteistövalvomoista ja sen perusteella selvitetään järjestelmien energiankulutuksia ja sisäilman laatua autopaikoitustiloissa.

Työn on tilannut Fläkt Woods Oy, ja se tehdään yhteistyössä SOK:n kanssa. Fläkt Woods Oy on ilmanvaihtoalan johtavia yrityksiä ja insinöörityössä tutkittavien kohteiden suuntapainepuhallinjärjestelmät ovat kaikki Fläkt Woods Oy:n toimittamia. Insinöörityön tavoitteena on osoittaa, että suuntapainepuhallinjärjestelmä on oikein suunniteltuna ja toteutettuna energia- ja kustannustehokas vaihtoehto kanavoiduille ilmanvaihtojärjestelmille suljetuissa autopaikoitustiloissa. Lisäksi halutaan saada tietoa siitä, olisiko autopaikoitustilojen suunnittelussa tai automaatiojärjestelmien käytössä jotain sellaista, jota parantamalla voitaisiin pienentää autopaikoitustilojen ilmanvaihdon energiankulutusta ilmanlaatua huonontamatta.

2 Suljetut autopaikoitustilat ja niiden ilmanvaihto

2.1 Lainsäädäntö ja suunnitteluperusteet

Suljettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihto-ohjeet on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 liitteessä 2. Ilmanvaihdon suunnittelu perustuu ohjeiden mukaisesti siihen, että autopaikoitustilan ilmanvaihto järjestetään siten, etteivät ilman epäpuhtaudet vaikuta käyttäjien terveyteen. Lisäksi huomioidaan myös käyttäjien kokema autopaikoitustilan käyttömukavuus. Insinööritöön puitteissa tutkittavat autopaikoitustilat ovat kaikki yhteydessä muihin tiloihin, joten autopaikoitustilan tulee olla alipaineinen näihin muihin tiloihin nähden. Liikerakennuksen yhteydessä olevan autopaikoitustilan ilmanvaihdon poistoilmavirran tulee olla kaavan 1 mukaisesti:

$$q_{poisto} = n * 0,9$$

$$q_{poisto} = poistoilmamäärä \text{ neliometriä kohden } \left[\frac{dm^3 / s}{m^2} \right] \quad (1)$$

n on keskimääräinen ajojen määrä vuorokaudessa

Keskimääräisten ajojen määrän tulee laskukaavassa olla rakentamismääräyskokoelman mukaisesti vähintään 4, kun kyseessä on liikerakennuksen yhteydessä oleva asiakaspaikoitustila. Tällöin pienin sallittu ilmanvaihtomäärä neliometriä kohden on kaavan 1 mukaisesti laskettuna:

$$q_{poisto} = 4 * 0,9 = 3,6 \text{ } dm^3 / s / m^2 \quad (1)$$

Pääsääntöisesti tätä käytetään aina laskettaessa kauppakeskusten yhteydessä olevien autopaikoitustilojen ilmanvaihtotarvetta.

Autopaikoitustilan tuloilma voi olla siirtoilmaa. Kauppakeskuksen jäteilmaa on mahdollista hyödyntää autopaikoitustilan tuloilmana. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ilmanvaihtoa voidaan vähentää ohjaamalla koneita epäpuhtauspitoisuuden mukaan. Tällä tavalla ohjaamalla saadaan tilaan tarpeenmukainen ilmanvaihto. Ohjauksen toteutuksen minimivaatimus on vähintään kolme kappaletta mitta-antureita jokaiselle autopaikoitustilan tasolle. [1, s. 23.]

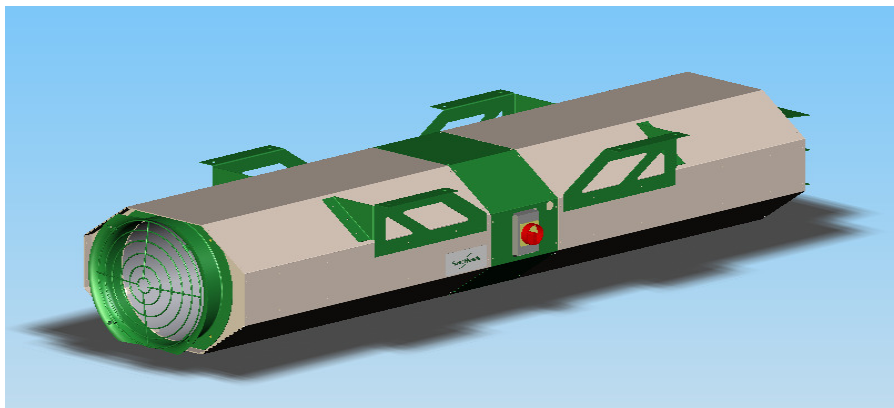
2.2 Sisäilman laatuvaatimukset

Sisäilman laadulle ei ole autopaikoitustilojen suhteen olemassa mitään määräyksiä, mutta suosituksia annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa HTP-arvot 2007 on annettu tietoja pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa. On kuitenkin huomioitava, että julkaisussa pitoisuuksia katsotaan työntekijän kannalta, jolloin altistuminen pitoisuuksille on yleensä pitkäkestoista. Kuitenkin ohjattaessa ilmanvaihtoa pitoisuusmittausten perusteella voidaan terveysministeriön julkaisun pitkän aikavälin altistumisarvoja pitää hälytysrajoina. HTP-arvot 2007 -julkaisun mukaan esimerkiksi hiilimonoksidin eli hään maksimipitoisuus 8 tunnin altistumisjaksolla on 30 ppm. Pitoisuuden ollessa 75 ppm on haitallisen altistumisen raja-arvo vain 15 minuuttia. [2, s. 24.]

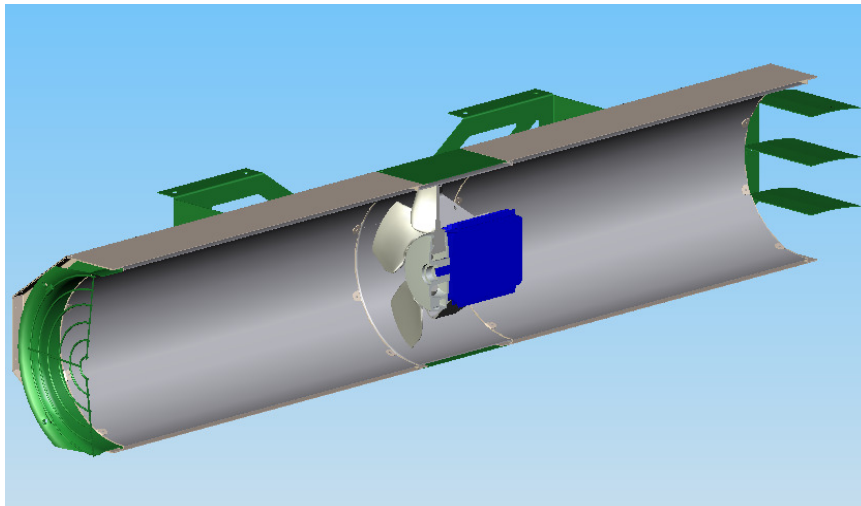
3 Suuntapainepuhallin

Tämä insinöörityö paneutuu suuntapainepuhaltimien käyttöön autopaikoitustilojen ilmanvaihdossa. Suuntapainepuhaltimet edustavat Suomessa vielä uutta teknologiaa. Fläkt Woods Oy on aloittanut suuntapainepuhaltimien markkinoinnin Suomessa vuonna 2007. Tällä hetkellä käytössä olevia kohteita on jo useita ja uusia kohteita toteutetaan ja suunnitellaan jatkuvasti. [3.]

Suuntapainepuhallin on aksiaalipuhallin, johon on integroitu äänenvaimentimet sekä imukellot suojaverkkoineen ja/tai suuntaussäleet asennustavasta riippuen. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty Fläkt Woods Oy:n Low-Profile-malli ja sen poikkileikkaus.



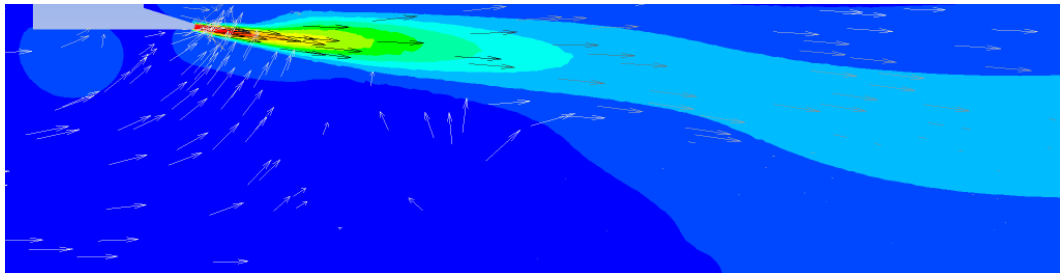
Kuva 1. Fläkt Woods 40JT-3LP-UBD-ISL-suuntapainepuhallin.



Kuva 2. Poikkileikkaus kuvan 1 puhaltimesta.

Kuvista nähdään laitteen selkeä, suhteellisen yksinkertainen rakenne. Kyseinen puhallinmalli edustaa hyvin tyypillistä suuntapainepuhallinta. Tuotteita on olemassa useita erimallisia, mutta pääsääntöisesti rakenne on aina sama. Kotelon mallia voidaan valita kohteen arkkitehtuuriin sopivaksi. Puhaltimen kokoa muuttamalla voidaan valita eri kohteisiin erikokoisia puhaltimia. Fläkt Woodsin mallistossa puhaltimien moottorin ottoteho on valittavissa ilmanvaihdon osalta välillä 80–300 W. Yhden puhaltimen sähkönkulutus on siis hyvin pieni, mutta jos kohteessa on useita kymmeniä puhaltimia, nousee myös niiden sähkönkulutus merkityksellisiin lukemiin. [4, s. 10–15.]

Suuntapainepuhaltimia ei luokitella tilavuusvirran ja paineenkorotuksen mukaan kuten perinteisiä aksiaalipuhaltimia. Suuntapainepuhaltimessa olennaista on sen aikaansaama työntö. Suuntapainepuhallin muodostaa ilmasuihkun, joka saa myös ympäröivän ilman liikkeelle. Kuva 3 demonstroi tätä efektiä hyvin.



Kuva 3. Suuntapainepuhaltimen aiheuttama työntö saa ympäröivänkin ilman liikkeelle.

Kuvasta nähdään, että ilman nopeus puhaltimen painepuolella on hyvin suuri. Ilman nopeus alkaa pian hidastua, mutta kuvan avulla voidaan selvästi nähdä, että myös ympäröivään ilmaan syntyy liikettä. Pääsääntöisesti puhaltimet sijoitellaan niin, että ilman liike on selkeästi puhallussuuntaan, myös lattian tasossa. Joskus on hyödyllistä sallia ilman liike lattian rajassa vastakkaiseen suuntaan. [3.]

Perinteinen kanavisto yrittää imeä ilmaa autopaikoitustilasta pois. Lisäksi tulo- ja poistoilmapuhaltimen on vielä voitettava kanaviston painehäviöt. Suuntapainepuhallinjärjestelmässä ei monesti ole lainkaan kanavistoja, ja täten puhaltimien painehäviöt ovat huomattavasti pienemmät. Suuntapainepuhaltimien käyttämä energia siis siirtyy suurelta osalta suoraan ilman liikuttamiseen ja sekoittamiseen.

4 Järjestelmäkuvaukset

Järjestelmäkuvauksissa esitellään jokainen kohde ja erityisesti sen autopaikoitustila ilmanvaihtolaitteineen. Järjestelmäkuvauksen tarkoituksena on, että niiden avulla selviää kohteiden eroavaisuudet ja samankaltaisuudet. Tästä on hyötyä tuloksia vertailtaessa, sillä jokainen rakennus on omanlaisensa eivätkä olosuhteetkaan ole eri maantieteellisistä sijainneista johtuen samanlaiset.

4.1 Prisma Itäkeskus, suuntapainepuhallinjärjestelmä

Prisma Itäkeskus oli ensimmäinen S-ryhmän kohde, johon Fläkt Woods Oy toimitti suuntapainepuhallinjärjestelmän. Kohde valmistui vuonna 2008. Kiinteistön rakennutti Sponda Oyj, joka vuokraa tilat HOK-Elannolle. Pysäköintilaitoksen ilmanvaihdon ja savunpoiston toteutus osoittautui haasteelliseksi, sillä osa tiloista sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella. Lisäksi vielä alueen ulkoilmanlaatu on ajoittain huono, johtuen suurista liikennemääristä. [5, s. 14–15.] Kuva 4 on otettu Prisma Itäkeskuksen autopaikoitustilan alemmalla tasolta, ja siinä näkyy rivissä Fläkt Wood Oy:n toimittamia suuntapainepuhallimia.



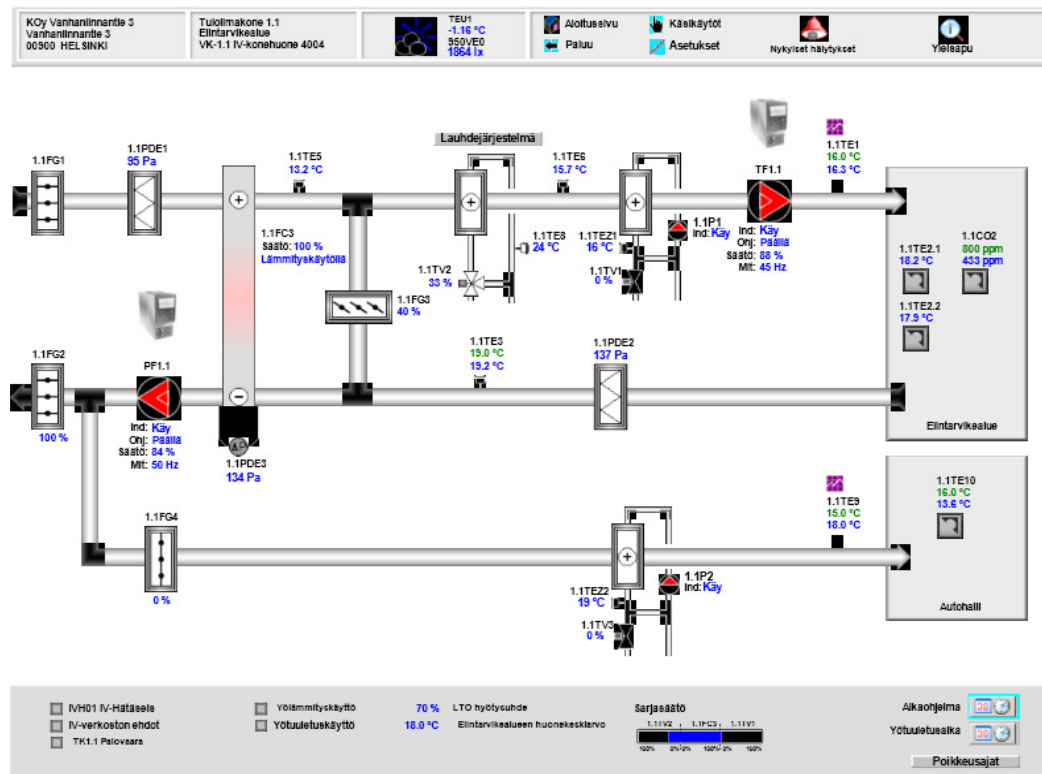
Kuva 4. Prisma Itäkeskuksen autopaikoitustilassa sijaitsevia suuntapainepuhallimia.

4.1.1 Kohde

Prisma Itäkeskuksen autopaikoitustila sijaitsee kauppakeskuksen alla kahdessa tasossa. Molemmat kerrokset ovat suurin piirtein yhtä suuret ja autopaikoitustilan kokonaispinta-ala on noin 25 000 m². Tästä laskettuna autopaikoitustilan ilmanvaihtomäärä on kaavan 1 mukaisesti 90 m³/s. Autopaikoitustilaa palvelee 6 myymälän konetta ja 2 erillistä tuloilmakonetta sekä neljä kahteen suuntaan puhaltavaa aksiaalipoistoilmapuhallinta, jotka toimivat myös savunpoistopuhaltimina. Kohteessa on 72 kappaletta Fläkt Wood Oy:n toimittamia 31JT-3LP-RDD-ISL-suuntapainepuhaltimia. Kyseisten suuntapainepuhaltimien nimellisilmamäärä on savunhallintakäytössä 1,2 m³/s ja ilmanvaihtokäytössä 0,61 m³/s. Vastaavasti työntö savunhallintakäytössä on 22 N ja ilmanvaihtokäytössä 5,7 N.

Suuntapainepuhaltimet on tässä kohteessa mitoitettu toimimaan ilmanvaihdoissa ja savunhallinnassa. Savunhallinta onkin syy suuntapainepuhaltimien suureen määrään, sillä savunhallinta vaatii huomattavasti enemmän puhallintehoa kuin pelkkä savutuuletus tai savunpoistoa avustava järjestelmä. Suuntapainepuhaltimista 60 kappaletta osallistuu ilmanvaihtoon. Ilmanvaihtoalueita kohteessa on kaksi, kummankin kerroksen ollessa omaa ilmanvaihtoaluettaan. Suuntapainepuhaltimien sähkönsyöttö tapahtuu taajuusmuuttajien välityksellä, joiden avulla suuntapainepuhaltimien kierrosnopeutta muutetaan vastaamaan ilmanvaihto- tai savunpoistotilannetta.

Kaikissa kuudessa ilmastointikoneessa, jotka palvelevat sekä myymälää että autopaikoitustilaa on sulkupeltejä, joiden avulla ilmaa voidaan ohjata tarpeen mukaan autopaikoitustilaan tai ulos rakennuksesta. Tämä tilanne näkyy hyvin kuvasta 5. Kuva on otettu ruutukaappauksena Prisma Itäkeskuksen kiinteistövalvontajärjestelmästä.



Kuva 5. Prisma Itäkeskuksen ilmanvaihtokoneen 1.1 kiinteistövalvomonäkymä.

Kuvasta 5 nähdään, että kuvan esittämällä ajanhetkellä pelti 1.1FG2 on täysin auki ja pelti 1.1FG4 on suljettu. Tässä tapauksessa puhaltimen PF1.1 koko ilmavirta puhalletaan ulos rakennuksesta, eikä autopaikoitustilaan.

Taulukkoon 1 on koottu suoraan autopaikoitustilaan liittyvien puhaltimien ilmamääriä ja sähkötehoja. Taulukon 1 arvot on kerätty kohteen valvomossa sijaitsevista luovutusransioista, joihin on kerätty kohteen koneiden teknisiä tietoja. Esitetyt tehot ovat moottoreiden maksimitehoja, mutta kuten muissakin järjestelmissä, ei tätäkään järjestelmää käytetä jatkuvasti täydellä teholla. Osatehojen käyttö ja puhaltimien todelliset käyttöasteet ilmenevät luvuissa 6 ja 7. Prisma Itäkeskuksesta kerätty data osoittautui puutteelliseksi, joten tuloksetkaan eivät ole vertailukelpoisia muiden kohteiden kanssa.

Taulukko 1. Prisma Itäkeskuksen puhaltimien moottoreiden nimellistehot [6].

Kone	Tunnus	Lukumäärä [kpl]	Nimellisilmamäärä [m³/s]	Yhden moottorin teho [kW]
Elintarvikealueen kone	1.1PK ja 1.2PK	2	13,30	22,00
Päivittäistavara-alueen kone	2.1PK	1	9,40	15,00
Päivittäistavara-alueen kone	2.2PK	1	11,00	18,50
Päivittäistavara-alueen kone	2.3PK ja 2.4PK	2	12,00	18,50
Pysäköintilaitoksen kone	3KT	1	10,90	18,50
Pysäköintilaitoksen kone	4TK	1	6,40	11,00
Poistopuhallin	3PF3.1 ja 3PF3.2	2	22,00	33,00
Poistopuhallin	4PF4.1 ja 4PF4.1	2	22,00	33,00
Suuntapainepuhallin	IPAKx ja IPYKx	72	0,61	0,09/0,70

Taulukosta 1 voidaan heti nähdä, että suuntapainepuhaltimien sähköteho on pieni verrattuna muihin puhaltimiin. Ilmanvaihdossa yhden suuntapainepuhaltimen moottorin nimellisteho on 90 W, jolloin kokonaistehoksi kaikille suuntapainepuhaltimille saadaan 6,48 kW. Näin ollen suuntapainepuhaltimien kuluttama energia on varsin vähäinen verrattuna muihin kohteen puhaltimiin, jos käyntiajat ovat samat.

4.1.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen

Tässä kohteessa autopaikoitustila on lämmintä tilaa. Autopaikoitustilan tuloilma tuotetaan pääsääntöisesti pelkästään autopaikoitustilaa palvelevilla koneilla, mutta ilmanvaihdon tehostustilanteissa tuloilmana käytetään myös myymälän koneiden siirtoilmaa. Tämä on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan sallittua (katso luku 2.1.) Autopaikoitustilaa palvelevat koneet toimivat kumpikin oman kerroksensa tuloilmakoneina. Myymälää palvelevat koneet on varustettu kiertoilmapellein, ja ne voivat käyttää siirtää osan jäteilmasta palautusilmana myymälään tai autohalliin. Ilman palautusta takaisin myymälään käytetään yön aikana, jolloin saadaan lämmityskustannuksia pienennettyä eikä ilman laatukaan myymälässä kärsi. Autotallista poistetaan ilmaa aksiaalipuhaltimien avulla. Nämä aksiaalit ovat taajuusmuuttajaohjattuja ja toimivat myös savunpoistossa. [7.]

4.1.3 Mitta-anturit

Mitta-antureina Prisma Itäkeskuksessa käytetään Sensorexin valmistamia SX421P pakokaasuantureita. Kyseiset anturit ovat niin kutsuttuja yhdistelmäantureita, eli ne mittaavat ilman häkäpitoisuutta ja hiilivetyjen määrää. SX421P-mitta-anturit ovat puolijohdeantureita, joiden mittakiteenä on tinaoksidipuolijohde. Mittareiden standardi mitta-alue on 0–400 ppm CO-ekvivalentti ja toimintalämpötila 0–55 °C. Anturit voidaan liittää kiinteistön valvonta-automaatioon, kuten Prisma Itäkeskuksessa on tehty, tai niiden avulla voidaan suoraan ohjata esimerkiksi taajuusmuuttajia. Yhdistelmäanturi on kompromissi verrattuna siihen, että anturit olisivat vain yhdelle kaasulle tarkoitettuja antureita. Anturin mittatuloksesta ei voi mitenkään päätellä, mikä kaasu tai kaasuyhdistelmä vaikuttaa pitoisuustasoon. Suomen rakentamismääräyskokoelma ei edellytä antureiden olevan hiilimonoksidiantureita. Antureiden laadusta tai mitattavaa kaasua ei ole mitenkään ohjeissa määriteltä, joten tässä mielessä yhdistelmäanturit ovat sallittuja. [8.] Laitevalmistajan ja Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan mitta-antureiden kalibrointi tulisi suorittaa kerran vuodessa.

4.1.4 Rakennusautomaatio

Prisma Itäkeskuksessa automaatiojärjestelmänä toimii Trend Control Systemsin 963-ohjelmisto. Autopaikoitustilojen perusilmanvaihto hoituu pelkästään autopaikoitustilaa palvelevilla ilmanvaihtokoneilla TK3 ja TK4 ja poistoilmapuhaltimilla 3PF3.1, 3PF3.2, 4PF4.1 ja 4PF4.2. Puhaltimia ohjataan aikaohjelman mukaisesti ja tehostusportaat käynnistyvät hiilimonoksidimittauksiin perustuen. Autopaikoitustilan häkäpitoisuuden nouseminen johtaa siihen, että edellä mainitut koneet alkavat käydä kovemmalla teholla. Tämä toiminto käynnistyy, jos antureiden mitaama pitoisuus ylittää raja-arvon 70 ppm. Jos pitoisuus 15 minuutin käyntijakson aikana laskee, palaa järjestelmä takaisin perustilaansa. Vaihtoehtoisesti jos epäpuhtauspitoisuus jatkaa nousuaan yli 150 ppm:n, avautuvat myymälän koneiden siirtoilmapellit 1.1FG4, 1.2FG4.1, 2.1FG4–2.4FG4 ja poistopuhaltimien teho kasvaa varmistamaan, että pysäköintilaitos jää vielä

alipaineiseksi. Maksimitehostus ohjautuu päälle vasta, kun antureiden mittaama pitoisuus ylittää 210 ppm. Suuntapainepuhaltimet käynnistyvät vasta, kun autopaikoitustilan pitoisuus jonkin anturin kohdalla ylittää raja-arvon 110 ppm. Tehostettu ilmanvaihto pysyy päällä sen aikaa, että hiilimonoksidipitoisuus hallissa laskee alle ylemmän raja-arvon. Tämän jälkeen järjestelmä palaa joko tehostustilanteeseen 1 tai kokonaan perustilaan, jos epäpuhtauspitoisuus on pudonnut alle 70 ppm:n. [7.]

Prisma Itäkeskuksessa kaikki suuntapainepuhaltimet toimivat ilmanvaihtotilanteessa rinnan, eli puhaltimia ei ole jaoteltu alueisiin, vaikka kumpikin kerros toimii itsenäisenä ilmanvaihtoalueena. Luvuissa 6 ja 7 perehdytään siihen, vaikuttaako tämä olennaisesti energiankulutukseen näinkin suurella puhallinmäärällä.

4.2 Prisma Kannelmäki, suuntapainepuhallinjärjestelmä

Prisma Kannelmäki sijaitsee Helsingissä Kehä 1:n ja Hämeenlinnanväylän kulmassa. Kohdetta laajennetaan kolmessa vaiheessa ja tämän insinööritoimiston puitteissa perehdytään laajennuksen 1. vaiheeseen, jonka rakentaminen valmistui maaliskuun lopussa vuonna 2009. Prisma Kannelmäki on pääkaupunkiseudulla toinen suuri Prisma, jonka ilmanvaihtojärjestelmäksi on valittu suuntapainepuhallimin toteutettavaksi.

4.2.1 Kohde

Prisma Kannelmäen yhteyteen rakennettiin laajennuksen yhteydessä maanalainen pysäköintilaitos, jossa on tilaa 280 autolle. Autopaikoitustila on pinta-alaltaan noin 9 340 m². Ilmanvaihtotarve on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti noin 33,6 m³/s. Kohteen ilmanvaihtoon ja savunhallintaan on asennettu 17 kappaletta Fläkt Woods Oy:n toimittamia suuntapainepuhaltimia. 14 kappaletta näistä on mallia 40JT-3LP-RDD-ISL, ja loput 3 kappaletta ovat mallia 31JT-3LP-RDD-ISL.

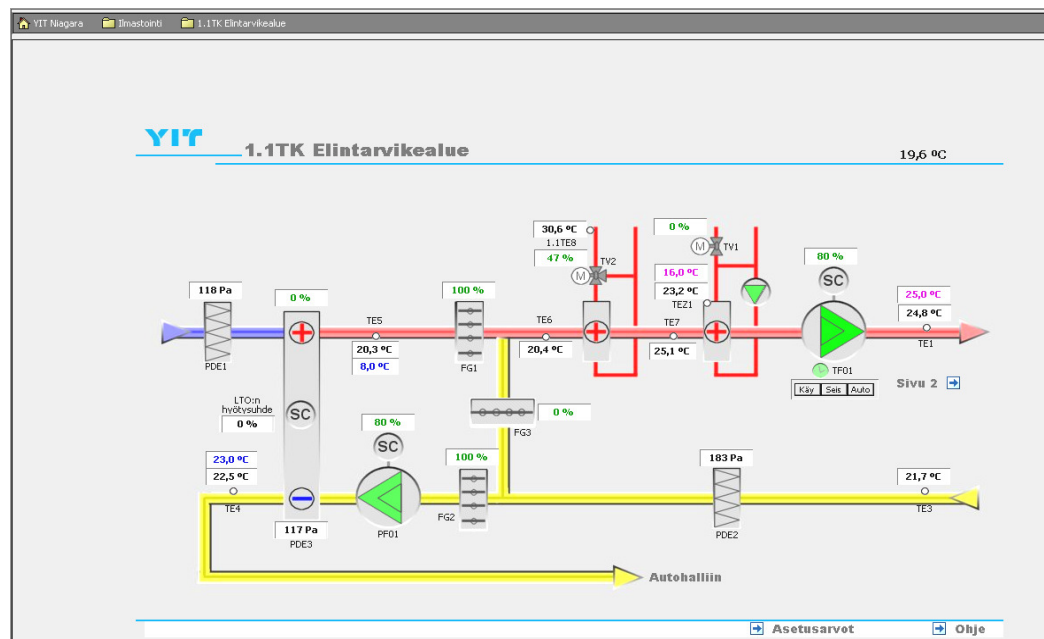
40JT-puhaltimien nimellisilmamäärät ovat savunhallintatilanteessa $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$ /puhallin ja ilmanvaihto käytössä $1,22 \text{ m}^3/\text{s}$ /puhallin. Työntöä puhaltimet kehittävät savunhallintatilanteessa 57 N /puhallin ja ilmanvaihtotilanteessa $14,4 \text{ N}$ /puhallin. 31JT-puhaltimien vastaavat lukemat ovat $1,2/0,61 \text{ m}^3/\text{s}$ /puhallin ja $22/5,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Pienempien puhaltimien teho on siis huomattavasti suurempia vaatimattomampi, mutta CFD-laskennan avulla niiden sijoittelupaikat on optimoitu toimimaan näillä tehoilla.

Ilmanvaihtotilanteessa käytössä on 14 suuntapainepuhallinta ja kaikki puhaltavat vain yhteen suuntaan. Savunhallintaa varten autopaikoitustila on jaettu kahteen toiminnalliseen savunpoistoalueeseen ja puhaltimia käytetään tarpeen mukaisesti, osan ollessa molempiin suuntiin puhaltavia. [9.] Kuva 6 on otettu Prisma Kannelmäen autopaikoitustilasta ja siinä näkyy etualalla kohteeseen asennettu suuntapainepuhallin.



Kuva 6. Prisma Kannelmäen autopaikoitustila, jossa suuntapainepuhallin näkyy kattoon asennettuna.

Suuntapainepuhaltimien lisäksi autopaikoitustilan ilmanvaihtoon osallistuu 4 kappaletta myymälän ilmanvaihtokoneita, joiden siirtoilma puhalletaan autopaikoitustilaan. Ilma poistetaan autopaikoitustilasta kolmella aksiaalipuhaltimella. Tässä kohteessa myymälän ilmanvaihtokoneiden jäteilmaa ei ole mahdollista puhaltaa suoraan ulos kuten Prisma Itäkeskuksessa, vaan kaikki koneiden myymälästä poistama ilma ohjautuu suoraan autopaikoitustilaan. Järjestelmän rakenne käy ilmi kuvasta 7.



Kuva 7. Ruutukaappaus Prisma Kannelmäen automaatiojärjestelmästä.

Kuva 7 esittää ilmastointikoneen 1.1TK ruutukaappausta, joka on otettu kohteen automaatiojärjestelmästä. Kuvasta nähdään, että poistoilman sulkupeltiä ja sen sijoitusta lukuun ottamatta järjestelmän rakenne on hyvin samankaltainen kuin Prisma Itäkeskuksessa.

Taulukkoon 2 on koottu ilmanvaihtojärjestelmään suoraan vaikuttavien puhaltimien ilmamäärät ja sähkön nimellistehot. Samalla tavalla kuin muiden järjestelmien osalta, on tässäkin esitetty maksimitehot, ja ilmanvaihtotilanteessa käytetty teho käy ilmi luvuissa 6 ja 7.

Taulukko 2. Prisma Kannelmäen puhaltimien moottoreiden nimellistehot [10].

Kone	Tunnus	Lukumäärä [kpl]	Nimellisilmamäärä [m³/s]	Yhden moottorin teho [kW]
Elintarvikealueen kone	1.1PK	1	10	15
Elintarvikealueen kone	1.2PK	1	9	15
Päivittäistavara-alueen kone	2.1PK	1	9,2	15
Päivittäistavara-alueen kone	2.2PK	1	9,2	15
Poistopuhallin	PF1.1-PF1.3	3	13	11
Suuntapainepuhallin	IP1.1-1-18	17	2,43	0,17/1,35

4.2.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen

Tässäkin kohteessa autopaikoitustila on lämmin. Tuloilmana käytetään myymälän neljän koneen palautusilmaa. Koska näissä koneissa ei ole mahdollista ohjata jäteilmaa suoraan ulos, ei autopaikoitustilalla ole omia koneita, vaan kaikki tuloilma kulkee näiden koneiden kautta. Autopaikoitustilan ilmanvaihdon pienentäminen maksimista on kuitenkin mahdollista siten, että ilmastointikoneiden kiertoilmapeltiä avataan, jolloin osa ilmasta kiertää pelkästään myymälän sisällä ja vain osa puhalletaan autopaikoitustilaan. Tätä toimintoa ei tietenkään voida käyttää kun marketissa on paljon asiakkaita mutta toiminto on käyttökelpoinen myymälän kuorman ollessa pieni. Ilma poistetaan autopaikoitustilasta kolmen aksiaalipuhaltimen avulla. Kohteen puhaltimia ohjataan taajuusmuuttajien välityksellä.

4.2.3 Mitta-anturit

Prisma Kannelmäessä on käytetty Kimessa Oy:n valmistamia GSE507-hiilimonoksidiantureita. Kuten muissakin kohteissa käytetyt anturit, ovat nämäkin tyypiltään kaasuerkkiä puolijohdeantureita. Antureita on asennettu kohteeseen 3 kappaletta, joka on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukainen minimimäärä, kun ilmanvaihtoa halutaan ohjata pitoisuuden perusteella. Antureiden mittausalue on 0–1 000 ppm, ja mittaustarkkuus on vähintään 1 ppm näytön

heikkenemän ollessa alle 5 % vuodessa. Tämän anturin kohdalla kalibrointi suositellaan tehtävän kerran vuodessa. [11.]

4.2.4 Rakennusautomaatio

Prisma Kannelmäen rakennusautomaatiojärjestelmänä toimii YIT:n Niagara-järjestelmä. Tässä kohteessa ainoastaan autopaikoitustilan tulo- ja poistoilmamäärien hallitseminen on muita kohteita vaikeampaa, koska tuloilmamäärää on mahdotonta pienentää, jos myymälän ilmastointia käytetään täydellä ilmamäärällä. Hiilimonoksidiantureiden mittausten perusteella kuitenkin ohjataan ilmanvaihtoa siten, että jos pitoisuudet autopaikoitustilassa nousevat yli 30 ppm:n, ilmanvaihtokoneet siirtyvät tehostustilaan kasvattaen ilmamäärää, kunnes ne saavuttavat maksiminsa CO-pitoisuuden ollessa 50 ppm. Suuntapainepuhaltimet käynnistyvät CO-antureiden mittausten perusteella siten, että ne reagoivat toiseksi korkeimpaan mittausarvoon. Suuntapainepuhaltimien käynnistymisen raja-arvona on 30 ppm:n hiilimonoksidipitoisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että kahden anturin mittaaman pitoisuuden tulee olla yli 30 ppm ennen kuin suuntapainepuhaltimet käynnistyvät. Järjestelmään on asetettu ylimmän raja-arvon ylityksestä tapahtuvat hälytys, jonka järjestelmä lähettää, jos jonkun anturin mittaama pitoisuus ylittää 70 ppm. Kaikissa ilmanvaihtotilanteissa varmistetaan autopaikoitustilan pysyminen alipaineisena myymälään nähden käyttämällä autopaikoitustilan poistopuhaltimia hieman tulokoneita suuremmilla ilmamäärillä. [9.]

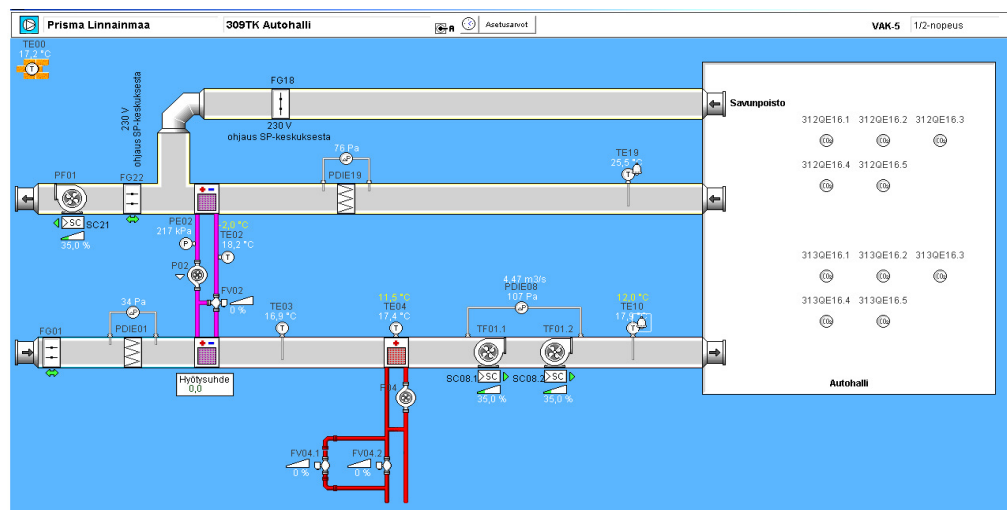
4.3 Prisma Linnainmaa, suuntapainepuhallinjärjestelmä

Prisma Linnainmaa sijaitsee Tampereella, Jyväskylätien ja Lahdentien solmukohdassa. Samalla tontilla oli jo ennestään S-Market, joka rakennusprojektin aikana laajennettiin Prismaksi. Laajennuksen rakentaminen aloitettiin kesällä 2008, ja se valmistui syksyllä 2009. Laajennuksen yhteydessä toteutettiin myös maanalaisen pysäköintilaitoksen laajennus ja saneeraus.

4.3.1 Kohde

Prisma Linnainmaan yhteyteen rakennetussa pysäköintilaitoksessa on 414 autopaikkaa, ja se on ulkoseinien mukaisesti laskettuna pinta-alaltaan 14 400 m²:n kokoinen [12]. Autopaikoitustilan ilmanvaihdotarve on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti 45 m³/s, kun pinta-alasta huomioidaan pois kiinteät esteet kuten väliseinät ja pilarit. Kohteessa on käytetty 20 kappaletta Fläkt Woods Oy:n 40JT-3SP-RDD-ISL-suuntapainepuhaltimia, jotka toimivat sekä ilmanvaihdossa että savunpoistossa. Ilmanvaihtotilanteessa puhaltimet toimivat vain yhteen suuntaan, mutta savunpoistoa on mahdollista tehostaa suuntapainepuhaltimilla sen mukaan, kummalla puolella autohallia palo sijaitsee [13].

Suuntapainepuhaltimien lisäksi järjestelmä koostuu tulo- ja poistoilmapuhaltimista, lämmöntalteenotto- ja lämmityspattereista, taajuusmuuttajista, hiilimonoksidiantureista ja järjestelmää ohjaavasta kiinteistöautomaatiojärjestelmästä.



Kuva 8. Prisma Linnainmaan ilmastointikoneen 309TK järjestelmäkaavio.

Kuva 8 on ruutukaappaus Prisma Linnainmaan automaatiojärjestelmästä. Kuvassa on esitetty ilmastointikoneen 309TK eri osat, mittapisteiden hetkelliset lukema-arvot sekä asetusarvot niille laitteille, joille sellainen on asetettu. Kuvasta nähdään, että puhallin

309PF01 on ilmanvaihdon poistopuhallin, mutta se kykenee toimimaan myös savunpoistossa, ohittamalla lämmöntalteenottopatteri ja suodattimet. Tällä tavalla on saatu säästettyä järjestelmän rakentamiskustannuksissa, kun yksi puhallin on voitu jättää kokonaan hankkimatta ja asentamatta, yhdistämällä savunpoisto ja ilmanvaihto saman poistopuhaltimen taakse.

Kohteen suuntapainepuhaltimien moottoreiden sähköteho on ilmanvaihtokäytössä 0,17 kW ja savunpoistokäytössä 1,4 kW. Yhden suuntapainepuhaltimen nimellisilmamäärä savunpoistotilanteessa on 2,43 m³/s, ja sen työntö on 57 N. Suuntapainepuhaltimien aikaansaama työntö on ilmanvaihtokäytössä 14,4 N puhallinta kohden, ja puhaltimen nimellisilmamäärä on 1,22 m³/s. Yhden puhaltimen liikuttama ilmamäärä on moninkertainen verrattuna sen nimellisilmamäärään johtuen siitä, että puhaltimen ilmasuihku saa myös ympäröivän ilman liikkeeseen. Näin ollen liikkuva ilmamassa on huomattavasti suurempi kuin pelkästään puhaltimen läpi virtaava ilmamäärä. [4, s. 13.]

Kohteen tuloilmakoneet on mitoitettu siten, että kummankin maksimi ilmamäärä on 21,00 m³/s. Näissä on molemmissa koneissa kaksi kammiopuhallinta, joiden moottoreiden nimellisteho on 18,5 kW. Tuloilmakoneiden kokonaissähköteho on 74 kW. Mitoituksesta käy ilmi, että mitoituspisteen ilmamäärällä ja paineella yhden tuloilmakoneen sähkön kokonaisottokehoksi tulee 27,91 kW. [14.]

Poistoilmapuhaltimet on vastaavasti mitoitettu hieman suuremmalle ilmamäärälle, jotta saadaan varmistettua autopaikoitustilan pysyminen alipaineisena kauppakeskukseen nähden. Tällä osaltaan varmistetaan myös se, että pakokaasujen hajut eivät pääse leviämään autopaikoitustilojen ulkopuolelle muihin asiakastiloihin. Poistoilmapuhaltimien maksimi ilmamäärä on 22,50 m³/s/puhallin. Näiden puhaltimien nimellisteho on 36 kW [15]. Puhaltimia on järjestelmässä yhteensä neljä, mutta tähän insinööritoimintaan liittyen niistä tarkastellaan vain kahta, koska toiset kaksi eivät osallistu ollenkaan ilmanvaihtoon, vaan toimivat vain savunpoistotilanteessa.

Puhaltimia tarkastellessa täytyy muistaa, että aiemmin esitettyjä tehoja ei tarvita ilmanvaihtokäytössä, vaan yllä mainitut tehot ovat moottoreiden maksimitehoja, jotka ovat käytössä vain savunpoistotilanteessa. Ilmanvaihdossa käytetään osatehoja, ja näiden laskennasta on lisää tietoa luvuissa 6 ja 7.

4.3.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen

Autopaikoitustila on kokonaan maanalainen ja suljettu. Pysäköintilaitos on lämmitettyä tilaa, ja sen ilmanvaihtoa varten on kaksi ilmanvaihtokonetta, jotka molemmat palvelevat vain autopaikoitustilaa. Autopaikoitustilan ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenotolla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 vaatimusten mukaan. Rakentamismääräyskokoelman mukaan ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen vähintään 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergian määrästä [1, s. 17]. Lämmöntalteenotto on toteutettu tässä kohteessa nestelämmön-siirtopattereina.

Tämä kohde on poikkeuksellinen verrattuna muihin tämän insinööriyön puitteissa tutkittuihin kohteisiin juuri tuloilmajärjestelyn takia. Muissa kohteissa tuloilmana on käytetty myymälän koneiden jäteilmaa. Tämän perusteella voisi kuvitella, että autopaikoitustilan ilma on Prisma Linnainmaalla puhtaampaa verrattuna muihin kohteisiin. Toisaalta taas olisi helppo kuvitella, että muissa Prismoissa suosittu järjestelmä käyttää myymälän jäteilmaa autopaikoitustilan tuloilmana olisi Prisma Linnainmaan järjestelmää huomattavasti energiatehokkaampi. Tämän vertailun tuloksia on esitetty luvuissa 6 ja 7.

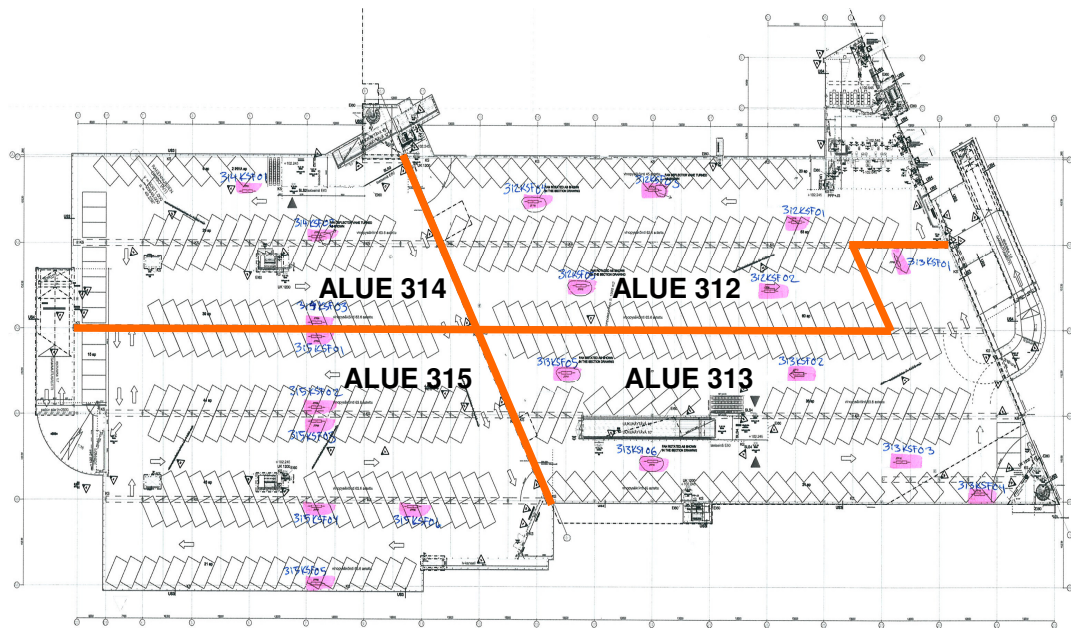
4.3.3 Mitta-anturit

Autopaikoitustilaan on asennettu 20 kappaletta Detector Oy:n valmistamia mutta Avaco Systemsin nimellä markkinoitavia digitaalisia hiilimonoksidiantureita. Anturit ovat

kaasuherkkiä puolijohdeantureita, ja niiden mittakiteet ovat tässä tapauksessa tehty vain hiilimonoksidin mittaamiseen. Antureiden toimintaperiaate perustuu suureen joukkoon vastakkain painettuja puolijohderakeita ja niiden pintakerroksia. Mitattava kaasu absorboituu anturiin ja reagoi anturin pinnassa olevien happiatomeiden kanssa. Tämä vapauttaa happiatomien sitomia elektroneja, jotka parantavat anturin pinnan sähkönjohtokykyä. Tästä seuraa anturin vastuksen pieneneminen. Anturin lähettämä viesti suhteutetaan mitattuun hiilimonoksidipitoisuuteen. Valvontajärjestelmä tulkitsee tämän viestin, muuttaen tuloksen taas pitoisuustiedoksi järjestelmän näyttöä varten. Kohteen hiilimonoksidiantureiden mitta-alue on 0–300 ppm ja toimintalämpötila -10... +40 °C. Antureiden kalibrointia suositellaan tehtävän 12 kuukauden välein. [16.]

4.3.4 Rakennusautomaatio

Tässä kohteessa suuntapainepuhallinjärjestelmä on mahdollistanut sen, että rakennusautomaation avulla ilman liikkeitä voidaan ohjata niihin kohtiin, joissa päästöt aiheutuvat. Koko autopaikoitustila on jaettu ilmanvaihdon osalta neljään alueeseen kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9. Prisma Linnainmaa ilmanvaihdon aluejako (suuntapainepuhaltimet merkitty lilalla).

Kuvassa 9 on esitetty Prisma Linnainmaan ilmanvaihdon aluejako. Tämä jako mahdollistaa sen, että vain osaa suuntapainepuhaltimista käytetään tarvittaessa. Kullekin alueelle on asennettu 5 kappaletta hiilimonoksidiantureita, joiden avulla järjestelmä tunnistaa ilmanvaihdon tarpeen kyseisellä alueella. [17.]

Rakennusautomaation perustana toimii Siemensin Desigo PX -rakennusautomaatio- ja ohjausjärjestelmä. Järjestelmään on asetettu ilmanvaihdon osalta kolme eri toimintatasoa. Eri tasoja ohjaa CO-antureiden mittaustukset. 1. tasolla käytössä on vain perusilmanvaihto, jolloin suuntapainepuhaltimet eivät käy. Tuloilmakoneet ja näiden kanssa sarjassa ohjautuvat poistoilmapuhaltimekset käyvät puolinopeudella. Tämä taso edellyttää, että CO-antureiden mittaustulokset ovat alle 30 ppm. Tasolle 2 siirrytään, jos samalla alueella kahden anturin mittausarvo nousee yli alimman raja-arvon, joka on asetettu 30 ppm:ään. Tässä tapauksessa kyseisen alueen suuntapainepuhaltimet käynnistyvät puoliteholle. Suuntapainepuhaltimet käyvät 15 minuuttia, jonka jälkeen järjestelmä palautuu alemmalle tehotasolle, jos CO-pitoisuus on putoaa alle raja-arvon. 3. tasolle siirrytään, mikäli ylempi raja-arvo 50 ppm ylittyy. Tuloilmakoneet ja näitä

seuraavat poistoilmapuhaltimet toimivat täysteholla. Suuntapainepuhaltimet toimivat edelleen puoliteholla. Mikäli CO-pitoisuus ei laske 15 minuutin kuluessa alle 50 ppm:n, vaikka järjestelmä käy tehotasolla 3, aiheutuu B-hälytys. 70 ppm:n CO-pitoisuuden ylityksestä seuraa A-hälytys. Nämä toiminnot ovat kaikille alueille samat mutta kuitenkin siten, että alueet ohjautuvat päälle yksitellen. Tämä varmistaa sen, että energiankulutus on mahdollisimman pieni ja ilmanvaihtoa käytetään vain niissä osissa missä on tarvetta. Esimerkiksi henkilökunta ajaa autonsa yleensä alueelle 312, jolloin on mahdollista, että tämän alueen CO-pitoisuudet nousevat muuta parkkihallia korkeammiksi työntekijöiden saapuessa tai lähtiessä töistä.

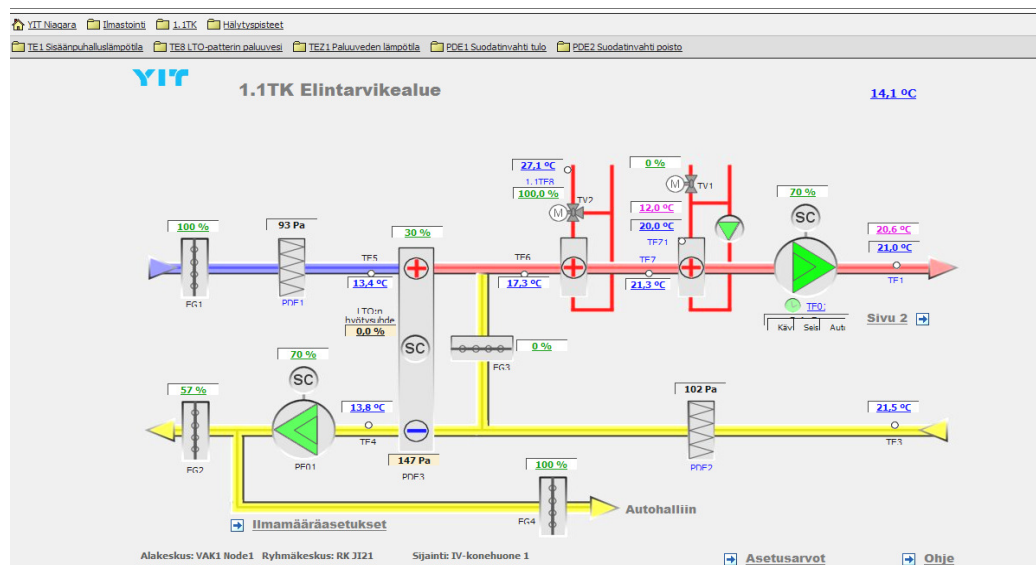
4.4 Prisma Viikki, kanavoitu järjestelmä

Prisma Viikki sijaitsee Itä-Helsingissä Lahdenväylän alkupäässä. Kyseiselle tontille on ollut suunnitteilla aikoinaan Maxi-Market ja S-market, mutta loppujen lopuksi tontille rakennettiin HOK-Elannon toimesta Prisma-hypermarket. Kohteen rakentaminen aloitettiin elokuussa 2006, ja se luovutettiin tilaajalle syyskuussa 2007. Kohteeseen rakennettiin myös suljettu pysäköintilaitos. [18.]

4.4.1 Kohde

Prisma Viikkiin yhteyteen rakennettu autopaikoitustila on kooltaan 9 545 m² ja siellä on yhteensä 233 autopaikkaa. Prisma Viikin autopaikoitustilan ilmanvaihto poikkeaa muista tämän insinööritoimiston kohteista merkittävästi. Kohteen ilmamäärä on laskettu samalla tavalla kuin muidenkin kohteiden, eli Suomen rakentamismääräyskokoelmaan D2 perustuen. Tässä kohteessa autopaikoitustilan ilmanvaihtomäärä on noin 35 m³/s. Tuloilma tuodaan autopaikoitustilaan samalla tavalla kuin Prisma Kannelmässä ja Itäkeskuksessa, eli myymälän koneiden jäteilmaa käytetään autopaikoitustilan tuloilmana. Tässä kohteessa ei ole pelkästään autohallia palvelevia tuloilmakoneita. Kaikki autohallin tuloilma on myymälän koneiden palautusilmaa. Kuten Prisma Itäkeskuksessa, myös Viikissä on mahdollista vähentää autopaikoitustilan

tuloilmamäärää puhaltamalla osa tai kaikki jäteilmasta suoraan ulos. Autopaikoitustilasta ilma poistetaan aksiaalipuhaltimilla, jotka toimivat sarjassa tuloilmakoneiden kanssa. Kuva 10 on ruutukaappaus Prisma Viikin kiinteistövalvontajärjestelmästä. Kuvasta nähdään, millä tavalla ilma saadaan ohjattua joka autopaikoitustilaan tai suoraan ulos.



Kuva 10. Prisma Viikin ilmanvaihtokoneen 1.1 kiinteistövalvomönäkymä.

Kuvasta 10 nähdään, että ilman jako autopaikoitustilaan on hyvin samanlainen kuin Prisma Itäkeskuksessa ja Kannelmässä. Tässä kohteessa ei kuitenkaan käytetä suuntapainepuhaltimia ilman liikuttamiseen autopaikoitustilassa, vaan järjestelmä perustuu niin ikään Fläkt Woods Oy:n kehittämään Dirivent-järjestelmään. Dirivent-järjestelmän toiminta perustuu sekoittavaan ilmanjakoon, aivan kuten suuntapainepuhallinjärjestelmäkin. Prisma Viikissä Dirivent-järjestelmän perustana on viisi koteloitua kiertoilmakonetta, joiden painepuolelle on rakennettu ilmanvaihtokanavistot. Ilman jako kanavistosta tilaan tapahtuu Dirivent-suuttimien kautta. Kuva 11 on otettu Prisma Viikin autopaikoitustilasta, ja siinä näkyy yksi koteloitu kiertoilmakone ja kanavisto Dirivent-suuttimineen.



Kuva 11. Prisma Viikin yksi kiertoilmakone sekä koneesta lähtevä kanavisto Dirivent-suuttimin varustettuna.

Taulukkoon 3 on koottu suoraan autopaikoitustilaan liittyvien puhaltimien ilmamääriä ja sähkötehoja. Laskelmat puhaltimien todellisista sähkön kulutuksista osatehoilla on esitetty luvuissa 6 ja 7.

Taulukko 3. Prisma Viikin puhaltimien moottoreiden nimellistehot [19].

Kone	Tunnus	Lukumäärä [kpl]	Nimellisilmamäärä [m³/s]	Yhden moottorin teho [kW]
Elintarvikealueen kone	1.1PK	1	8,2	15
Elintarvikealueen kone	1.2PK	1	9,5	18,5
Päivittäistavara-alueen kone	2.1PK	1	13,2	22
Päivittäistavara-alueen kone	2.2PK	1	12,5	22
Poistopuhallin	PF1.1	1	8,5	10
Poistopuhallin	PF1.2	1	8,9	10
Poistopuhallin	PF1.3	1	10,9	10
Poistopuhallin	PF1.4	1	7,9	10
Kiertoilmakone	IP1-IP4	4	1,25	3
Kiertoilmakone	IP5	1	0,6	1,1

4.4.2 Autohallin suhde muuhun rakennukseen

Autopaikoitustila on lämmitetty, ja sen tuloilmana käytetään myymälän koneiden siirtoilmaa. Ratkaisu on yhdistelmä Prisma Kannelmäessä ja Prisma Itäkeskuksessa käytetyistä järjestelmistä. Kuten Kannelmäessä, myös Prisma Viikissä kaikki autopaikoitustilan tuloilma otetaan myymälän koneilta. Tässä kohteessa on kuitenkin mahdollista pienentää autopaikoitustilan tuloilmavirtaa puhaltamalla osa myymälän koneiden ilmasta suoraan ulos, kuten Prisma Itäkeskuksessa. Autopaikoitustilasta ilma poistetaan aksiaalipuhaltimien välityksellä kuten kaikissa muissakin kohteissa.

4.4.3 Mitta-anturit

Prisma Viikissä hiilimonoksidi antureina käytetään Produal Oy:n valmistamia HML-lähettimeä. Kyseisten antureiden toimintaperiaate on sama kuin muissakin kohteissa, eli anturit ovat sähkökemiallisia puolijohdeantureita. HML-anturit ovat vain hiilimonoksidille tarkoitettuja eivätkä täten reagoi muiden kaasujen pitoisuuksiin. Antureiden toiminta-alueeksi on valittavissa 0–100 ppm tai 0–300 ppm. Alle 70 ppm:n tarkkuuksilla antureiden virhe on enintään ± 10 ppm ja yli 70 ppm:n alueella mittaustuloksen tarkkuus on ± 15 % lukemasta. Anturit ovat sähkölämmitettynä, joten niiden toimintalämpötila on $-30...+40$ °C. Prisma Viikissä on antureita yhteensä neljä kappaletta. [20.]

4.4.4 Rakennusautomaatio

Prisma Kannelmaen tavoin Viikin rakennusautomaatio järjestelmänä toimii YIT:n Niagara-järjestelmä. Muista kohteista poiketen Viikissä ilmanvaihdon ohjaus ei toteudu ainoastaan CO-antureiden mittauksen perusteella. CO-mittauksiin perustuen ohjataan autopaikoitustilan ilmamäärää, mutta autohalliin puhallettava ilmamäärä riippuu sekä tietyn koneen käyntinopeudesta että autopaikoitustilan CO-pitoisuudesta. Esimerkiksi

jos ilmanvaihtokone TK1.1 käy 2/3:n teholla ja CO-pitoisuus autopaikoitustilassa on alle 30 ppm, niin koneen TK1.1 ilmavirrasta vain 45 % ohjataan autopaikoitustilaan. Vastaavasti jos hiilimonoksidipitoisuus nousee yli 50 ppm:n ja kone käy edelleen 2/3:n nopeudella, autopaikoitustilaan ohjataan 65 % koneen ilmavirrasta. Myymälän ilmanvaihtokoneiden nopeuden säätö ohjautuu myymälän hiilidioksidipitoisuuden ja aikaohjelmien mukaisesti. Autopaikoitustilan käyttö ei siis vaikuta myymälän koneiden kierrosnopeuksiin. Poistoilmapuhaltimet käyvät aina, kun tuloilmapuhaltimetkin käyvät. Lisäksi autopaikoitustilan viisi kiertoilmakonetta käyvät aina, kun poistoilmapuhaltimet käyvät. Tämä tarkoittaa sitä, että CO-mittaukseen perustuen säädetään vain sitä, kuinka suuri osa myymälän koneiden poistoilmasta puhalletaan ulos ja kuinka suuri osa puhalletaan autopaikoitustilaan. [21.]

Taulukko 4. Prisma Viikin myymälän koneiden autohalliin puhaltama ilmamäärä

	Kone käy 2/3 teholla		Kone käy täydellä teholla	
	<30 ppm	>50 ppm	<30 ppm	>50 ppm
TK1.1	45 %	65 %	30 %	55 %
TK1.2	100 %	100 %	70 %	100 %
TK2.1	65 %	100 %	40 %	100 %
TK2.2	80 %	100 %	55 %	100 %

Taulukko 4 esittää, kuinka suuri osa kunkin ilmastointikoneen ilmamäärästä puhalletaan autopaikoitustilaan tietyllä koneen käyntiteholla ja autopaikoitustilan CO-pitoisuudella. Esimerkiksi koneen TK1.2 koko ilmamäärä ohjataan aina autopaikoitustilaan, paitsi silloin kun kone käy täydellä teholla ja autopaikoitustilan CO-pitoisuus on alle 30 ppm.

5 Seurantamittaukset

5.1 Mittausperiaatteet

Mittaukset tehtiin käyttäen apuna rakennusten jo olemassa olevia rakennusautomaatiojärjestelmiä. Kaikista tähän insinööritoimintaan liittyvistä kohteista löytyy sellaiset järjestelmät, että niillä saadaan tallennettua tarvittavia suureita energiankulutuksen ja ilman laadun tarkempaa tutkimista varten. Kaikki järjestelmät sisältävät lukuisia lämpötila- ja hiilimonoksidiantureita sekä peltien ja moottoreiden asento- ja käyntitietoja. Osassa kohteista trenditietojen tallennus oli jo kytketty päälle ja osassa kohteista ei. Tämän vuoksi mittausajanjaksoksi valikoitui 1.4.–31.7.2010. Tällä ajanjaksolla oli mahdollista saada kohteista vertailukelpoiset mittausdatat, pois lukien Prisma Itäkeskus, jossa mittausjakso oli 1.5.–31.8.2010. Jaksolla ei ole suurta merkitystä, koska Itäkeskuksen data ei ollut tallentunut trenditietokantaan täydellisenä. Se ei siis ole vertailukelpoista muihin nähden.

5.2 Mitattavat suureet

Jokaisessa kohteessa pyrittiin mittaamaan samoja asioita. Koska jokainen järjestelmä on kuitenkin omanlaisensa, täytyi mitattavia suureita kuitenkin hieman soveltaa kohteittain. Pääsääntöisesti jokaisesta kohteesta pystyttiin mittaamaan seuraavia suureita:

- hetkellinen tulo- ja poistoilmamäärä
- lämmöntalteenoton hyötysuhde
- lämmitysventtiilien avauma
- lämpötilat ilmankierron eri vaiheissa

- mahdollisten peltien asennot
- autopaikoitustilan hiilimonoksidipitoisuudet.

Mikään tutkittavista järjestelmistä ei suoraan ilmoittanut puhaltimien käyntiaikoja tai yksittäisten puhaltimien hetkellisiä sähkökulutustietoja. Nämä pystyttiin kuitenkin laskemaan käyttäen apuna hetkellisiä tulo- ja poistoilmamääriä sekä sulkupeltien asentotietoja. Suuntapainepuhaltimien moottoreiden käyntiajat pystyttiin määrittämään tutkimalla laitteiston säätöjärjestelmää ja hetkellisiä hiilimonoksidipitoisuuksia autopaikoitustilassa. Esimerkiksi Prisma Linnainmaalla suuntapainepuhaltimien käynnistyminen vaatii 30 ppm:n pitoisuuden ylitystä vähintään kahden saman alueen anturin kohdalla. Näin voitiin tulkita, että jos jonakin aikana kahden anturin lukema on ollut yli 30 ppm, ovat puhaltimet käynnistyneet ja käyneet valvontajärjestelmän määritysten mukaisen ajan. Tulkinat moottoreiden sähkökulutuksista tehtiin MS Excel -taulukkolaskentaohjelman avulla.

Lämpötilojen avulla voitiin päätellä järjestelmän energiatehokkuutta ja säätöjärjestelmien toimintaa. Tässä työssä ei kuitenkaan tutkittu lämmitysenergian käyttöä, vaan ilman liikuttamiseen käytettyä energiamäärää, joka on sähköenergiaa.

6 Mittaustulokset

Mittaustulokset on tallennettu kunkin kohteen automaatiojärjestelmästä. Osassa kohteista seuranta on ollut käytössä jo rakennuksen käyttöönottoaiheesta saakka ja osassa tallennukset on käynnistetty vasta 1.4.2010. Jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia, ovat kaikki samalta ajanjaksolta, eli 1.4.–31.7.2010. Mittaustulokset on arvioitu kokonaisuutenaan tältä jaksolta ja esimerkiksi energiankulutus on laskettu koko jakson ajalta. Kuvaajissa on selvyuden vuoksi esitetty vain juhannusviikon mittaustuloksia, ellei kuvaajan kohdalla muuta ole mainittu. Tähän päädyttiin siksi, että valtava datamäärä ei tuottanut helposti luettavia kuvaajia ja näin ollen pienet erot olisivat hukkuneet massaan.

6.1 Autopaikoitustilojen käyttöaste

Autopaikoitustilojen käyttöasteen tutkiminen oli haasteellista, koska yhdessäkään tämän insinööriyön puitteissa tutkituista autopaikoitustiloista ei ole sellaista järjestelmää, joka rekisteröisi sisään ja ulostulevien autojen määrän ajan funktiona. Osassa autohalleista on ovissa laskurit, jotka laskevat ovien avausmäärät. Näissäkin ongelmaksi muodostuu se, että autoja saattaa kulkea yhdellä ovenavauksella useampi kerrallaan. Vaikka autojen tarkka lukumäärä tiedettäisiin, ei se silti kerro autotallin todellista käyttöastetta tietyllä ajanhetkellä. Tarkkoja tietoja autopaikoitustilojen käyttöasteista ei ole, mutta kohteiden huoltomiehiä ja henkilökuntaa haastatteleamalla on arvioitu alla olevan taulukon 5 mukaiset käyttöasteet.

Taulukko 5. Haastatteluihin perustuvat autopaikoitustilan arvioidut käyttöasteet [22; 23].

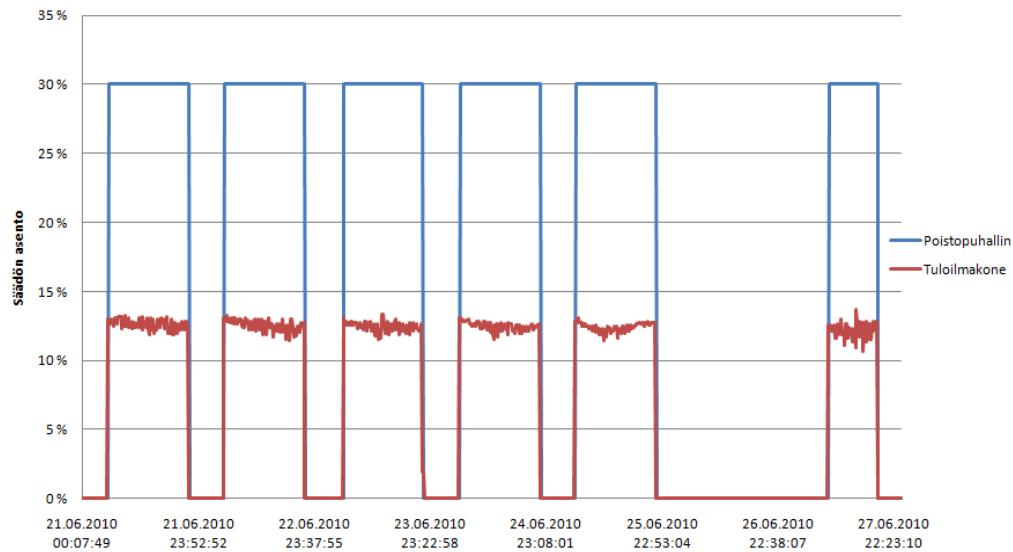
Päivä	Kellonaika						
	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-21
ma	15 %	35 %	25 %	40 %	75 %	40 %	25 %
ti	15 %	35 %	25 %	35 %	60 %	35 %	25 %
ke	15 %	35 %	20 %	35 %	60 %	35 %	25 %
to	15 %	35 %	20 %	35 %	60 %	35 %	25 %
pe	15 %	35 %	25 %	40 %	85 %	65 %	45 %
la	20 %	50 %	75 %	75 %	70 %	0 %	0 %
su	0 %	0 %	70 %	75 %	70 %	0 %	0 %

Taulukon 5 arvot ovat hyvin viitteellisiä. Niitä voidaan kuitenkin käyttää, kun arvioidaan, koska olisi todennäköistä, että autopaikoitustilan hiilimonoksidipitoisuudet kohoavat. Taulukon 5 perusteella voidaan todeta ilmanvaihdon kannalta hankalimpien tilanteiden syntyvän lähellä sitä ajankohtaa, kun suurin osa ihmisistä pääsee töistä ja käy kaupassa ennen kotiin menoa. Viikonlopun vaikutus näkyy selvästi, koska autopaikoitustilojen käyttöaste on huipussaan perjantai-iltaisina.

Taulukko 5 pätee hyvin pääkaupunkiseudun Prismoihin, mutta sen esittämät käyttöasteet eivät toteudu Prisma Linnainmaan osalta. Prisma Linnainmaalla käyttöasteet ovat noin puolet pääkaupunkiseudun Prismoihin verrattuna. Prisma Linnainmaalla ei ole ollut maanalaista autopaikoitustilaa aiemmin, eivätkä asiakkaat ole sitä tottuneet käyttämään, varsinkin kun kohteen yhteydessä on suuri ulkopaikoitustila. [24.]

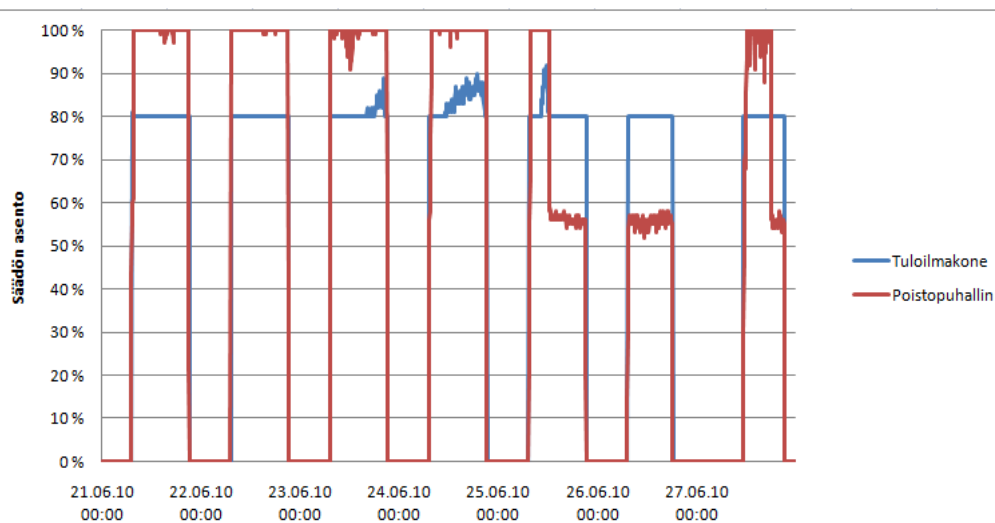
6.2 Puhaltimien käyntiajat

Puhaltimien käyntiajat käyvät ilmi valvontajärjestelmien tallentamista trendiseurannoista. Vaikka kaikkia järjestelmiä ohjataan viikkokellon avulla, muuttuvat niiden ilmavirrat käytön mukaan. Tämän vuoksi pelkkiä käyntiaikoja vertailemalla on mahdoton sanoa, mikä järjestelmä toimii kaikkein energiatehokkaimmin. Kuvassa 12 on esitetty Prisma Linnainmaan tuloilmakoneen TK309 ja vastaavan poistoilmapuhaltimen PK309 käyntinopeudet niiden maksimiarvoista ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.



Kuva 12. Prisma Linnainmaan ilmastointikoneen TK309 ja vastaavan poistoilmapuhaltimen käyntinopeus ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.

Kuvassa näkyy hyvin, että poistopuhallin on käynyt aikaohjelman mukaisesti tasaisella teholla koko ajan. Tuloilmakone taas on käynnistynyt aikaohjelman mukaisesti, mutta sen käyntinopeus on vaihdellut jatkuvasti muuttuen antureiden mittaustulosten perusteella. Kuvassa 12 näkyy myös, kuinka puhaltimet ovat olleet sammutettuina juhannuspäivänä 26.6.2010, kun kauppakeskus on ollut suljettuna. Seuraavassa kuvassa 13 on esitetty vastaava ajanjakso Prisma Kannelmäen tuloilmakoneen 1.1PK ja poistoilmapuhaltimen PF1.3 mittaustuloksista.



Kuva 13. Prisma Kannelmäen ilmastointikoneen 1.1PK ja vastaavan poistoilmapuhaltimen käyntinopeus viikon ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.

Jos verrataan kuvia 12 ja 13, nähdään, että Prisma Kannelmäessä ei ole huomioitu juhannuksesta aiheutunutta kauppakeskuksen kiinnioloa lainkaan. Puhaltimien käyntinopeudet ovat kuitenkin olleet pienemmät kuin viikolla muuten, koska mittanturit ovat havainneet pitoisuuksien olevan normaalia vähäisempiä.

6.3 Puhaltimien energiankulutus

Puhaltimien kuluttama sähköenergia on laskettu MS Excel -taulukkolaskentaohjelmalla valvontajärjestelmistä saatujen pyörimisnopeuksien avulla. Laskennassa on jouduttu käyttämään moottoreiden nimellistehoja, koska puhaltimien toimintapisteiden ottotehoja ei ollut tarpeeksi kattavasti saatavilla. Laskennassa on käytetty puhallinlakeja apuna määriteltäessä puhaltimien osatehoja. Puhallinlakien mukaan pyörintänopeuden pienentyessä pienenee tehontarve pyörintänopeuden muutoksen kolmanteen potenssiin [25, s. 37.] Kaavaa 2 on käytetty puhallinten osatehojen laskentaan.

$$P_2 = (n_2 / n_1)^3 * P_1$$

$$\begin{aligned} P_1 & \text{ on puhaltimen nimellisteho [kW]} \\ P_2 & \text{ on puhaltimen osateho pyörimisnopeudella } n_2 \text{ [kW]} \\ n_1 & \text{ on puhaltimen nimellinen pyörimisnopeus [1/min]} \\ n_2 & \text{ on puhaltimen pyörimisnopeus osateholla [1/min]} \end{aligned} \quad (2)$$

Valvontajärjestelmät eivät ilmoita puhaltimien pyörimisnopeuksia vaan taajuusmuuttajien tehoprocentteja. Tämä tehoprocentti vastaa puhaltimen pyörimisnopeutta sen maksimista, eli se on sama kuin n_2/n_1 . Siksi kaava 2 voidaan sieventää muotoon:

$$P_2 = (FC_{osa} / 100)^3 * P_1$$

$$\begin{aligned} P_1 & \text{ on puhaltimen nimellisteho [kW]} \\ P_2 & \text{ on puhaltimen osateho pyörimisnopeudella } n_2 \text{ [kW]} \\ FC_{osa} & \text{ on taajuusmuuttajan tehoprocentti [\%]} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Esimerkiksi valvontajärjestelmän esittäessä, että Prisma Kannelmäen ilmanvaihtokoneen puhallin PK1.1 on käynyt tietyn ajan pyörimisnopeudella 100 % ja kappaleen 4.2.1 taulukon 2 mukaisesti sen nimellistehon tiedetään olevan 15 kW, voidaan sen hetkellinen tehontarve laskea kaavan 2.1 mukaisesti:

$$P_2 = (FC_{osa} / 100)^3 * P_1 = (100 / 100)^3 * 15 \text{ kW} = 15 \text{ kW} \quad (2.1)$$

Vastaavasti jos valvontajärjestelmä ilmoittaa pyörimisnopeuden olevan 80 % maksimista, saadaan tehontarpeeksi

$$P_2 = (FC_{osa} / 100)^3 * P_1 = (80\% / 100)^3 * 15 \text{ kW} = 7,68 \text{ kW} \quad (2.1)$$

Tämän jälkeen tulee vielä laskea puhaltimen kuluttama energia. Tämä saadaan, kun tiedetään, kuinka kauan puhallin on toiminut tietyllä teholla. Valvontajärjestelmien näytteenottoväli on järjestelmäkohtainen. Prisma Kannelmäen tapauksessa näytteenottoväli on 5 minuuttia. Tällöin kulutettu energia saadaan laskettua kaavalla 3 [26, s. 36.]

$$W = P_2 * \Delta t$$

$$W \text{ on puhaltimen energiankulutus [kWh]} \quad (3)$$

$$P_2 \text{ on puhaltimen osateho pyörimisnopeudella } n_2 \text{ [kW]}$$

$$\Delta t \text{ on puhaltimen käyntiaika näytteenottovälillä [h]}$$

Puhaltimen käyntiaika tulee muistaa muuttaa tunneiksi, jotta kaavalla 3 saadaan oikea tulos puhaltimen energiankulutukseksi näytteenottovälillä. Alla on laskettu Prisma Kannelmäen puhaltimen PK1.1 puhaltimen kuluttama energia, kun sen käyntinopeus on ollut edellä mainittu 80 % ja näytteenottoväli on ollut 5 minuuttia.

$$W = P_2 * \Delta t = 7,68 \text{ kW} * (5 / 60) \text{ h} = 0,64 \text{ kWh} \quad (3.1)$$

Samaa laskentatapaa käytettiin kaikkien kohteiden kanssa. Suorittamalla laskenta Excel- taulukkolaskentaohjelmalla pystyttiin suuri datajoukko käsittelemään nopeasti ja tarkasti. Laskenta on ottanut huomioon kaikki käyntinopeuden muutokset, koska järjestelmät eivät muuta ohjausten arvoja näytteenottovälejä lyhyemmillä ajanjaksoilla. Liitteenä 1 on esimerkki käytetyistä laskentataulukoista. Tässä taulukossa on esitetty Prisma Kannelmäen tulo- ja poistopuhaltimien energiankulutuksen laskenta 21.6.2010 mitattujen arvojen perusteella.

Taulukkoon 6 on koottu kaikkien järjestelmien sähköenergiankulutukset seurantajakson aikana. Puhaltimet on selvyiden vuoksi eritelty tulo- ja poistopuhaltimiin sekä parkkihallin sisällä ilmaa liikuttaviin puhaltimiin, joilla tarkoitetaan

suuntapainepuhaltimia muissa kuin Prisma Viikin yhteydessä. Taulukkoa tarkastellessa on syytä huomata, että Prisma Itäkeskuksen tulokset eivät ole vertailukelpoisia puuttuvien mittauspisteiden vuoksi.

Taulukko 6. Puhaltimien kuluttama sähköenergia mittausjakson aikana.

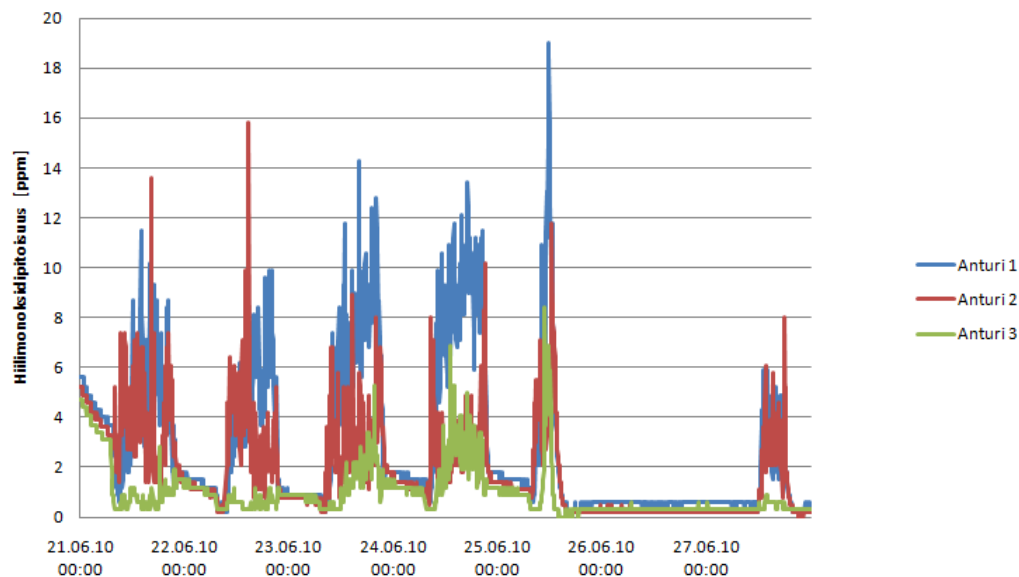
Kohde	Sähköenergian kulutus [kWh]			
	Tulopuhaltimet	Poistopuhaltimet	Kiertoilmapuhaltimet	Yhteensä
Itäkeskus	12 094	3 506	420	16 020
Kannelmäki	33 608	35 203	25	68 836
Linnainmaa	1 231	8 963	22	10 196
Viikki	29 431	46 256	23 877	99 564

Sähköenergian kulutusta laskettaessa ei huomioitu puhaltimien hyötysuhteita, vaan laskenta perustuu täysin puhallinlakeihin. Laskennassa ei myöskään ole huomioitu muiden laitteiden, kuten taajuusmuuttajien, hyötysuhteita. Todellisuudessa energiankulutus on laskennallista suurempaa. Moottoreiden hyötysuhde laskee olennaisesti osakierroksilla käydessä, joten tämän vuoksi Prisma Linnainmaan energiankulutus näyttää huomattavasti muita järjestelmiä paremmalta. Puhaltimien kuluttamaa sähköenergian määrää on analysoitu tarkemmin luvussa 7.

6.4 Ilman lämpötila ja laatu

Tässä insinööritöössä arvioidaan autopaikoitustilojen ilman laatua hiilimonoksidipitoisuuden ja lämpötilan avulla. Hiilimonoksidipitoisuuden korkeat arvot kertovat autopaikoitustilassa olevista pakokaasuista. Vaikka hiilimonoksidi onkin hajuton kaasu, haisevat autojen pakokaasut käyttäjien mielestä epämiellyttäviltä, minkä lisäksi ne ovat myös myrkyllisiä. Onkin siis perusteltua sanoa, että mitä pienemmät hiilimonoksidipitoisuudet autopaikoitustilassa on, sitä miellyttävämpänä asiakas kokee tilan.

Lämpötilan osalta haluttiin tarkkailla, pysyykö lämpötila kohteissa tasaisena koko aukioloajan. Koska kaikki autopaikoitustilat, joita tässä insinööriyössä vertailtiin, olivat lämmitettyjä, on niiden lämpötila myös kustannuskysymys. Käyttäjä kuitenkin kokee tasaisen lämpötilan miellyttävänä.



Kuva 14. Prisma Kannelmäen hiilimonoksidiantureiden mittaustulokset ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.

Kuvasta 14 voidaan nähdä, että kyseisellä viikolla eivät hiilimonoksidiarvot kohonneet yli raja-arvon 30 ppm kertaakaan. Tämä tarkoittaa sitä, että suuntapainepuhaltimet eivät ole käyneet jakson aikana kertaakaan. Käyriä tarkastellessa voidaan kuitenkin huomata, että pitoisuudet eivät ole jakautuneet täysin tasan läpi autopaikoitustilan. Mitta-anturi 1:n arvot ovat lähes aina hieman korkeammat kuin muiden antureiden lukemat. Tämä johtuu siitä, että mitta-anturi 1 sijaitsee sellaisessa paikassa, josta kaikki autot ajavat ohi poistuessaan autopaikoitustilasta.

Taulukkoon 7 on kerätty kohteittain tiedot koko mittausjakson aikaisista CO-antureiden minimi- ja maksimiarvoista sekä laskettu CO-pitoisuuden keskiarvo jakson aikana. Näiden lisäksi taulukoitiin myös niiden mitta-antureiden keskiarvot, jotka olivat kohteen pienimmät ja suurimmat. Näin voidaan arvioida, onko jonkin mitta-anturin arvo

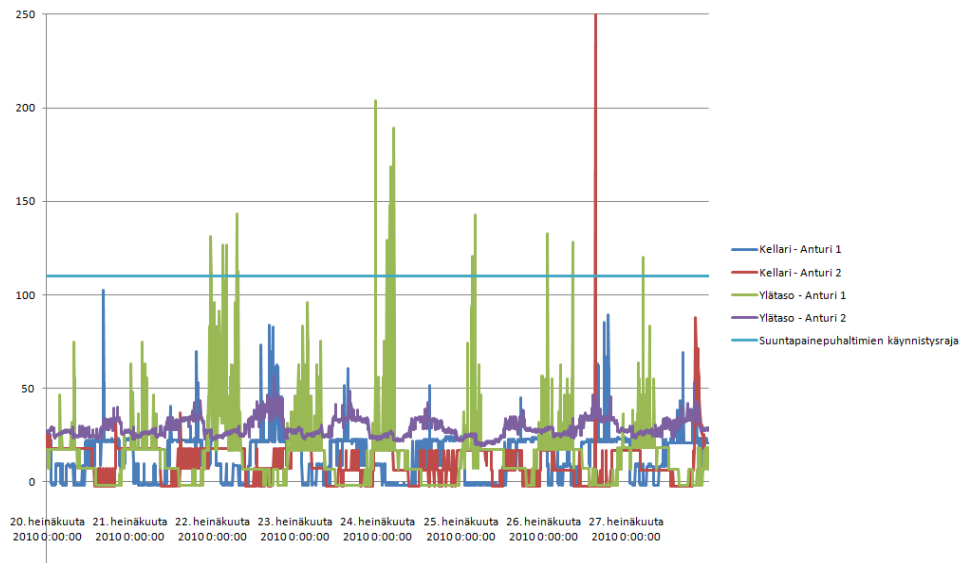
jatkuvasti muista poikkeava. Tämä saattaisi indikoida jonkin anturin rikkoontumista tai sitten sijoituksesta johtuvaa suurta poikkeamaa.

Taulukko 7. Hiilimonoksidimittausten arvoja kohteittain laskettuna.

	Hiilimonoksidipitoisuus jakson aikana [ppm]				
Kohde	Minimiarvo	Maksimiarvo	Alhaisin mitta- anturin keskiarvo	Korkein mitta- anturin keskiarvo	Kaikkien antureiden keskiarvo kohteessa
Itäkeskus	-2,1	664,0	11,9	27,6	18,4
Kannelmäki	-0,1	108,1	1,7	3,6	2,8
Linnainmaa	0,0	282,0	0,6	4,0	1,2
Viikki	0,8	259,0	6,3	11,5	8,6

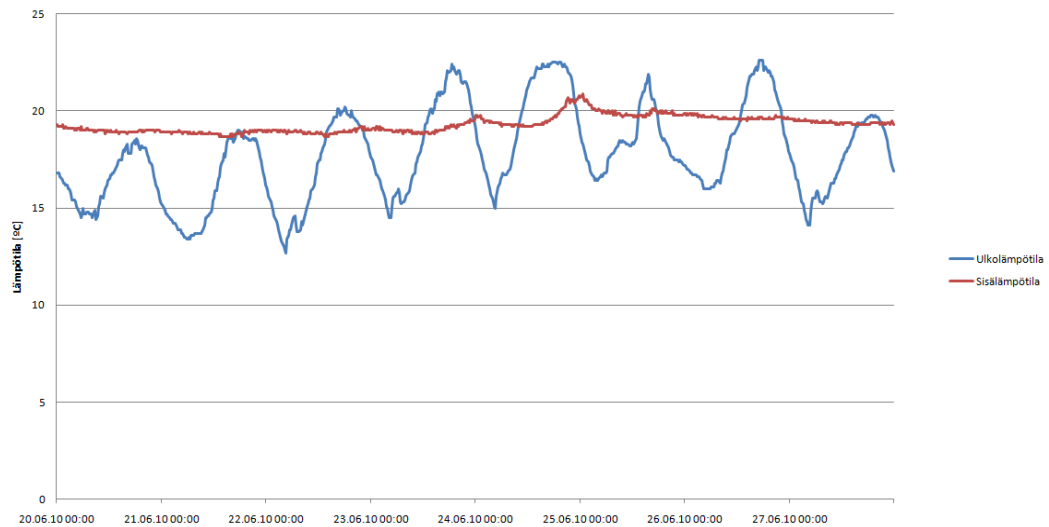
Taulukosta 7 voidaan nähdä, että Prisma Kannelmäen ja Prisma Linnainmaan autopaikoitustiloissa on ollut tämän vertailun alhaisimmat hiilimonoksidipitoisuudet. Sekä Itäkeskuksen että Viikin Prismojen hiilimonoksidiantureiden mittausarvot ovat selkeästi Kannelmäkeä ja Linnainmaata korkeammat. Osaksi tämä varmasti johtuu paikallisista taustapitoisuuksista, mutta Itäkeskusten mittausten kohdalla voidaan pitää antureiden keskinäisiäkin eroja merkittävinä.

Kuvassa 15 esitetty Prisma Itäkeskuksen osalta pääpuhaltimiin vaikuttavien antureiden mittaustulokset ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.



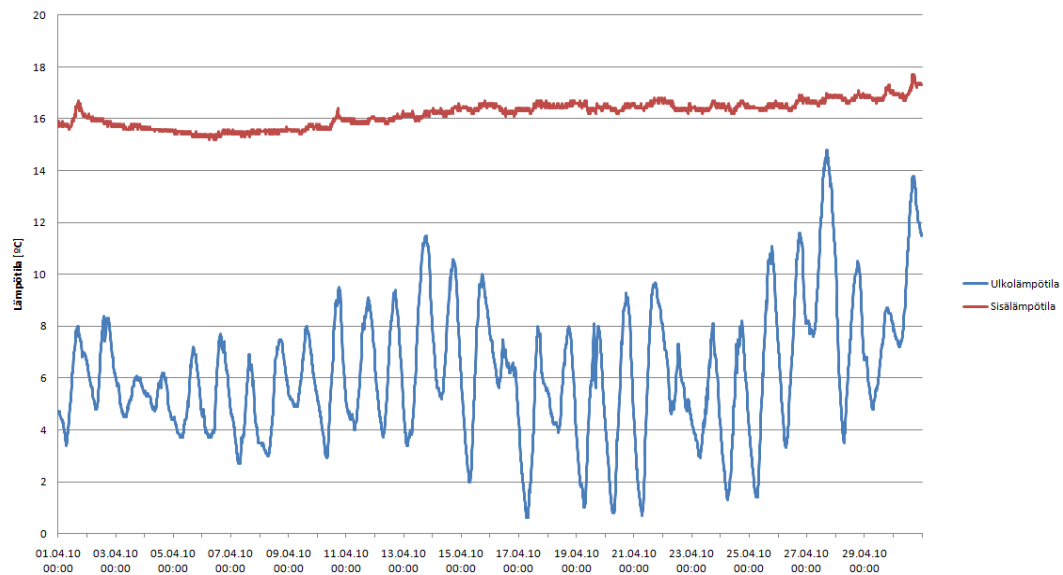
Kuva 15. Prisma Itäkeskuksen hiilimonoksidiantureiden mittaustulokset ajanjaksolla 21.6.–27.6.2010.

Kuvasta 15 nähdään hyvin, että antureiden mitaamat arvot vaihtelevat hyvin laajalla alueella. Kuvasta on kuitenkin selkeästi havaittavissa, että ylemmän tason antureiden mittausravot ovat pääsääntöisesti korkeammat kuin alemman tason arvot. Tällä ajanjaksolla on ollut muutamia lyhyitä hetkiä, kun suuntapainepuhaltimien käynnistymisen raja-arvo 110 ppm on ylitetty. Kuvaajan 15 ja taulukon 6 kohdalla on huomattava, että johtuen antureiden mittaustavasta, pitoisuudet eivät ole todellisia CO₂-pitoisuuksia kuten muissa kohteissa vaan mittaustuloksessa on muitakin kaasuja mukana.



Kuva 16. Prisma Kannelmäen autopaikoitustilan lämpötila ulkolämpötilaan verrattuna ajanjaksolla 21.6–27.6.2010.

Kuvasta 16 nähdään, että lämpötilan vaihteluväli on pieni, vaikka ulkolämpötilan yön ja päivän väliset lämpötilaerot saattavat olla yli 7 °C. Tämä onkin oletettavaa, kun kyseessä on kesä eli lämmitystä ei tarvita. Kuva 17 esittää saman asian kuin kuva 16, mutta esitettynä on koko huhtikuu, joka on ollut vielä lämmityskaudella ja ulkolämpötilatkin ovat jakson alussa noin +5 °C:n paikkeilla.



Kuva 17. Prisma Kannelmäen autopaikoitustilan lämpötila ulkolämpötilaan verrattuna huhtikuussa 2010.

Kuvasta 17 nähdään, että lämmityskaudella autopaikoitustilan lämpötila on noin 3 °C alhaisempi kuin kesällä. Lämpötila pysyy kuitenkin hyvin tasaisena läpi jakson.

Taulukkoon 8 on kerätty minimi- ja maksimi- ja keskiarvoja kohteiden sisä- ja ulkolämpötiloista. Taulukon avulla voidaan arvioida, eroavatko kohteet toisistaan lämmityksen osalta. Prisma Itäkeskuksen kohdalla pitää huomioida, että mittausjakso on 1.5–31.8.2010, kun se muissa on ollut 1.4–31.7.2010.

Taulukko 8. Kohteiden sisä- ja ulkolämpötilojen huippu- ja keskiarvoja mittausjaksolla.

	Lämpötila jakson aikana [°C]					
	Ulkolämpötila			Sisälämpötila		
Kohde	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Itäkeskus	0,2	32,9	16,6	15,5	25,8	20,2
Kannelmäki	0,6	31,1	14,6	15,2	22,8	18,6
Linnainmaa	-6,6	45,3	14,1	10,4	26,0	18,8
Viiikki	0,9	32,9	14,8	16,2	25,8	20,7

Taulukosta 8 nähdään, että kaikkien järjestelmien lämmitysjärjestelmät onnistuvat pitämään autopaikoitustilan lämpötilan tasaisena. Järjestelmissä ei tietenkään ole jäähdytystä, joten kesän helteillä ovat lämpötilat hieman asetusarvoja korkeammat mutta ne ovat silti reilusti ulkolämpötilaa matalammat. Ainoastaan Prisma Linnainmaan sisälämpötilan minimiarvo poikkeaa selkeästi muista järjestelmistä. Tätä ilmiötä on kommentoitu tarkemmin luvussa 7.

7 Tulosten analysointi

7.1 Järjestelmien energiankulutusten vertailu

Järjestelmien energiankulutusta on vaikea arvioida suoraan luvun 6.3 taulukon 6 perusteella, koska autopaikoitustilat ovat keskenään erikokoisia ja vaativat siksi eri määrän ilmanvaihtoa. Järjestelmien energiankulutusten vertailua varten taulukon 6 arvoista on laskettu taulukoihin 9 ja 10 jokaiselle kohteelle energiankulutus autopaikkaa ja neliötä kohden. Tällä tavalla voidaan paremmin arvioida eri järjestelmien keskinäistä paremmuutta. Taulukoihin haluttiin ottaa sekä neliökohtainen, että autopaikkakohtainen energiankulutus, koska osassa kohteista autopaikat ovat toisia suurempia.

Taulukko 9. Autopaikoitustilojen puhaltimien sähköenergiankulutus neliötä kohden koko mittausjakson aikana

Kohde	Sähköenergian kulutus per neliö [kWh/m ²]			
	Tulopuhaltimet	Poistopuhaltimet	Kiertoilmapuhaltimet	Yhteensä
Itäkeskus	0,48	0,14	0,02	0,64
Kannelmäki	3,60	3,77	0,00	7,37
Linnainmaa	0,09	0,62	0,00	0,71
Viikki	3,08	4,85	2,50	10,43

Taulukko 10. Autopaikoitustilojen puhaltimien sähköenergiankulutus autopaikkaa kohden koko mittausjakson aikana

Kohde	Sähköenergian kulutus per autopaikka [kWh/autopaikka]			
	Tulopuhaltimet	Poistopuhaltimet	Kiertoilmapuhaltimet	Yhteensä
Itäkeskus	18,61	5,39	0,65	24,65
Kannelmäki	120,03	125,73	0,09	245,84
Linnainmaa	2,97	21,65	0,05	24,63
Viikki	126,31	198,52	102,48	427,31

Taulukoita 9 ja 10 tarkastellessa on otettava huomioon, että Prisma Itäkeskuksen tulokset eivät ole vertailukelpoisia, koska mittaus tuloksia puuttui välistä ja mittausjakso

on eri kuin muilla kohteilla, vaikka se onkin pituudeltaan yhtä pitkä. Todellisuudessa tulokset olisivat korkeammat kuin mitä nyt on esitetty.

Taulukoista voidaan kuitenkin selkeästi havaita, että vertailukelpoisista kohteista Prisma Linnainmaan puhaltimien energiankulutus on ollut kaikkein vähäisintä. Tämä johtuu hyvin pitkälle siitä, että autopaikoitustilan ilmanvaihtomäärää on ohjattu tarpeen mukaan. Tarpeenmukainen ohjaus on mahdollistanut sen, että puhaltimet ovat käyneet hyvin pienillä kierroksilla ja täten niiden energiankulutus on ollut vähäistä. Prisma Linnainmaan autopaikoitustilan käyttöaste on myös ollut huomattavasti muita autopaikoitustiloja vähäisempää, kuten luvussa 6.1 todettiin. Varsinkin tällaisessa kohteessa ilmanvaihtomäärän pienentäminen tuo huomattavia energiansäästöjä autopaikoitustilan ilmanlaadun kärsimättä.

Prisma Kannelmäen ja Viikin energiankulutukset taas ovat pääpuhaltimien osalta hyvin samankaltaiset. Prisma Viikin energiankulutus on kuitenkin kokonaisuudessaan ollut suurempaa kuin Prisma Kannelmäessä. Syy tähän nähdään taulukoista, kun tarkastellaan saraketta ”kiertoilmapuhaltimet.” Kannelmäen osalta tämä sarake näyttää, että suuntapainepuhaltimet ovat kuluttaneet vain 90 Wh yhtä autopaikkaa kohden, kun taas Prisma Viikin kiertoilmakoneet ovat kuluttaneet yli 102 kWh yhtä autopaikkaa kohden. Viikissä autopaikkoja on 233 ja vastaavasti Kannelmäessä 280, vaikka kohteiden autopaikoitustilojen neliömääräinen ero ei ole kuin 205 neliötä.

Prosentuaalisesti taulukon 10 mukaan Prisma Kannelmäessä puhaltimien energiankulutus on ollut 43 % pienempi kuin Prisma Viikissä. Tämä ero selittyy sillä, että Prisma Kannelmäen suuntapainepuhaltimet ovat käyneet hyvin harvoin, kun taas Prisma Viikin kiertoilmakoneet käyvät aina kauppakeskuksen ollessa avoinna, vaikka ne toki käyvät alhaisella tehoportaalla. Prisma Viikin energiankulutusta olisi mahdollista laskea sammuttamalla kiertoilmakoneet ja käynnistämällä ne ainoastaan tarpeen mukaan. Tässä on kuitenkin huomattava se, että Prisma Viikin kiertoilmakoneiden yhteenlaskettu nimellisteho on 13,1 kW ja Prisma Kannelmäen suuntapainepuhaltimien nimellisteho ilmanvaihtokäytössä on vain 2,38 kW. Tämä

tarkoittaa sitä, että jos puhaltimet kävisivät yhtä pitkän jakson, olisi Kannelmäen suuntapainepuhaltimien energiankulutus silti vain 18,2 % Prisma Viikin kiertoilmakoneiden energiankulutuksesta.

7.2 Sisäilman laadun arviointi

Sisäilman laadun vertailu onnistuu hyvin, koska nämä tulokset ovat kaikkien kohteiden kannalta vertailukelpoiset, vaikka Prisma Itäkeskuksen mittausjakso onkin hieman eri kuin muilla kohteilla. Mittaustuloksista laskettiin keskiarvoja ja etsittiin suurimmat ja pienimmät arvot, jotka on esitetty luvun 6.4 taulukossa 7.

Luvussa 6.1 todettiin, että pääkaupunkiseudun Prismojen autopaikoitustilat ovat runsaammassa käytössä kuin Prisma Linnainmaan autopaikoitustila. Tämä myös näkyy hyvin kohteiden hiilimonoksidiantureiden mittaustuloksia tarkastellessa. Prisma Linnainmaan hiilimonoksidiantureiden keskiarvo koko mittausjakson aikana oli vain 1,2 ppm. Mittaustulos tuntuu alhaiselta, mutta tarkempi tarkastelu näyttää kyllä, että anturit toimivat halutulla tavalla. Tämä voidaan päätellä siitä, että yhdenkään anturin mittaustulos ei mennyt miinukselle eikä outoja yksittäisiä pitoisuushuippuja esiintynyt. Taulukossa 7 näkyvä maksimiarvo Prisma Linnainmaan hiilimonoksidimittaukselle on 282 ppm. Tämä selittyy autopaikoitustilan pesulla, joka suoritettiin polttomootorikäyttöisellä koneella [24]. Sama tai hyvin lähelle sama pitoisuus havaittiin jokaisen anturin kohdalla.

Prisma Kannelmäen antureiden mittausarvot tuntuvat myös hyvin loogisilta, ja keskiarvoja tarkastellessa nähdään, että yksittäisten antureiden pienimmät ja suurimmat keskiarvot ovat lähellä kaikista mittaustuloksista laskettua keskiarvoa. Kannelmäen osalta pohdintaa aiheuttaa ainoastaan antureiden määrä. Kolme anturia hallissa riittää toki täyttämään Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimukset, mutta määrä ei ole suuri, jos huomioidaan autopaikoitustilan pinta-ala $9\,340\text{ m}^2$. Antureiden vähäisestä määrästä johtuen voisi olla hyvä, että ohjaus tapahtuisi korkeimman mittauksen

perusteella eikä toiseksi korkeimpaan mittaukseen perustuen kuten nyt on määritelty. Tällä tavalla ohjaamalla voitaisiin mahdollisesti vähentää autopaikoitustilassa lähellä marketin sisäänkäyntiä esiintyvää ajoittaista hajuhaittaa, joka johtuu siitä, että kaikki autot ajavat pois lähtiessään tämän kohdan ohi.

Prisma Viikin ja Prisma Itäkeskuksen antureiden mittausarvot ovat oletetusti hieman kahta muuta kohdetta korkeammat, koska molemmat kauppakeskukset sijaitsevat liikennemääriltään hyvin suurten teiden läheisyydessä. Prisma Viikin hieman korkeampien pitoisuusarvojen ei siis voida suoraan sanoa johtuvan järjestelmän toimimattomuudesta, varsinkin kun arvot eivät kuitenkaan ole mitenkään merkittävästi poikkeavat muihin kohteisiin verrattuna. Prisma Viikin pitoisuusarvoja todennäköisesti pienentää jatkuvasti päällä olevat kiertoilmapuhaltimet, mutta tämä vastaavasti nostaa kohteen energiankulutusta muihin verrattuna.

Ainut kohde, jossa mitta-antureiden toimivuus herättää epäilyjä, on Prisma Itäkeskus. Ensinnäkin kohteessa on kerrosta kohden vain kaksi anturia, jotka ohjaavat pääpuhaltimien tehostusta. Tämä ei täytä Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimuksia ilmanvaihdon tarpeenmukaisesta ohjauksesta autopaikoitustilassa. Kyse on toki tulkinnasta, koska kaikki anturit kuitenkin pystyvät käynnistämään suuntapainepuhaltimet. Kohteen antureiden ongelmana kuitenkin tuntuvat olevan oudot mittaustulokset, joiden arvot vaihtelevat odottamattomasti ja erittäin laajalla alueella. Yhtenä syynä laajaan mittausten vaihteluväliin on varmasti se, että anturit ovat herkkiä useille eri kaasuille eikä vain hiilimonoksidille kuten muiden kohteiden anturit. Autopaikoitustilan ilmanlaadusta ei kuitenkaan ole huoltomiehelle tullut valituksia, joten tämän perusteella voidaan olettaa järjestelmän toimivan suunnitellulla tavalla [22].

Lämpötilan tarkastelu otettiin mukaan tähän insinööritoimintaan siksi, että tieto oli saatavilla samalla, kun muukin data kerättiin. Lämpötilojen perusteella ei kuitenkaan tällä laajuudella voida tehdä mitään johtopäätöksiä järjestelmien toimivuudesta ilmanvaihdon osalta. Tulokset kuitenkin osoittavat, että kaikissa kohteissa autopaikoitustila pysyy tasalämpöisenä, vaikka kesäaikaan niiden lämpötilat

nousevatkin lämmityskauden lämpötiloja korkeammiksi. Viileä autopaikoitustila saattaa kuitenkin houkutella asiakkaita kuumana kesäpäivänä, ja tämän perusteella kaikki autopaikoitustilat ovat yhdenveroisia.

Luvun 6.4 taulukosta 8 voidaan poimia yksi poikkeavuus. Prisma Linnainmaan minimilämpötila oli tällä vertailujaksolla 10,4 °C. Mitattu lämpötila on siis lähes 5 astetta alhaisempi kuin muiden kohteiden alimmat lämpötilat. Tämä ero johtuu todennäköisesti Prisma Linnainmaan muihin kohteisiin verrattuna erikoisesta ilmanvaihtoratkaisusta. Kohteen autopaikoitustilan ilmanvaihtohan on järjestetty kokonaan pelkästään autopaikoitustilaa palvelevilla ilmanvaihtokoneilla, kun muissa tämän insinöörityön puitteissa tutkituissa kohteissa autopaikoitustilan ilmanvaihtoon osallistuu myös myymälän koneita vaihtelevalla laajuudella. Nestelämmönsiirtopattereiden hyötysuhde ei ole yhtä hyvä kuin pyörivien lämmönsiirtimien hyötysuhde [27]. Tämän vuoksi ilman lämmittäminen Prisma Linnainmaan järjestelmällä vaatii enemmän energiaa kuin vastaavan ilmamäärän lämmittäminen muissa järjestelmissä. Pienentämällä autopaikoitustilan lämpötilaa saadaan kuitenkin pienennettyä myös ilman lämmittämiseen kuluva energiaa. Liian alhainen lämpötila autopaikoitustilassa voi kuitenkin olla huono asia, koska tila on suunniteltu tietylle käyttölämpötilalle, ja tämä on vaikuttanut esimerkiksi autopaikoitustilan kautta kulkevien putkien eristyspaksuuksiin ja rakenteiden lämmöneristykseen.

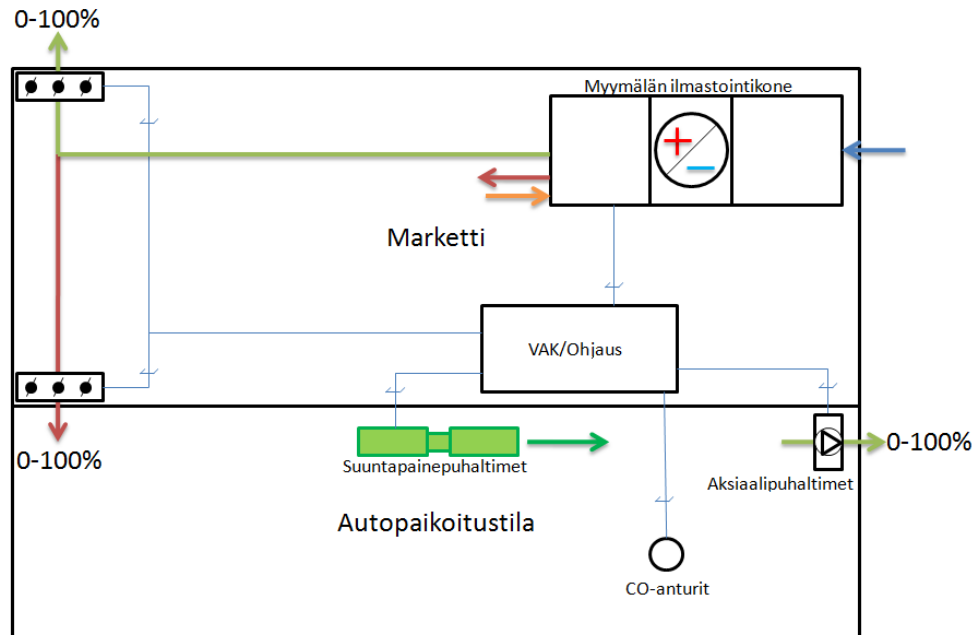
7.3 Järjestelmän toimivuus kokonaisuutena

Tässä insinöörityössä vertailtiin neljää eri kohdetta, joista kolmessa käytetään suuntapainepuhaltimia tehostamaan autopaikoitustilan ilmanvaihtoa ja yhdessä autopaikoitustilan ilmaa kierrättävät kiertoilmakoneet. Tämän insinöörityön tulosten perusteella voidaan todeta, että suuntapainepuhallinjärjestelmä toimii erittäin hyvin autopaikoitustilan ilmanvaihdossa. Suuntapainepuhallinjärjestelmä on energiatehokas ratkaisu, joka mahdollistaa tarkan ilman laadun hallinnan ja tarpeenmukaisen käytön.

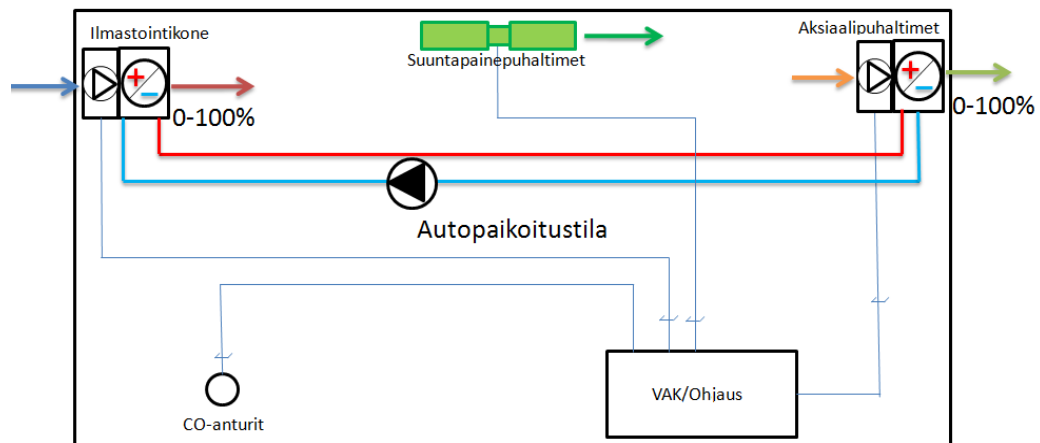
Suuntapainepuhaltimen etu verrattuna kanavoituun ratkaisuun on puhaltimien pieni nimellistehon tarve, koska puhaltimien ei tarvitse voittaa kanavistojen painehäviöitä. Toimiakseen optimaalisesti suuntapainepuhallinjärjestelmä vaatii oikein laaditun automaation rinnalleen, mutta toisaalta valitsemalla suuntapainepuhallinjärjestelmä autopaikoitustilan ilmanvaihtojärjestelmäksi voidaan samoilla suuntapainepuhaltimilla luoda kohteeseen savunhallintaan soveltuva järjestelmä. Savunpoisto on toki mahdollista toteuttaa kanavoituna järjestelmänä mutta savunhallintaa ei. Suuntapainepuhaltimien eduksi on myös laskettava niiden vaatima vähäinen asennustila ja asennuksen helppous.

Tämän insinööriyön tuloksia tarkastellessa on helppo havaita, että suurin vaikutus sähköenergiankulutukseen on järjestelmän pääpuhaltimilla. Puhaltimien energiankulutus on laskettu moottoreiden nimellistehon perusteella, joka tietenkin vääristää tuloksia, koska todellinen ottoteho on aina puhaltimen nimellistehoa pienempi. Lisäksi puhaltimien hyötysuhteen heikkeneminen nimelliskierroksia pienemmillä kierroksilla jätettiin huomioimatta, vaikka tälläkin on merkittävä vaikutus todelliseen kulutukseen. Tämän insinööriyön puitteissa ei ollut mahdollista paneutua puhaltimien todellisiin ottotehoihin. Kyseessä oli kuitenkin vertailu, joten kaikkien kohteiden ja puhaltimien kohdalla noudatettiin samaa periaatetta, joten tuloksia voidaan pitää tarpeeksi luotettavina johtopäätösten tekemistä varten. Tulosten valossa on helppo nähdä, että pienentämällä pääpuhaltimien kierroksia ja täten pienentämällä kokonaisilmamääriä saavutetaan suurin sähköenergian säästö.

Työssä vertailluissa kohteissa oli käytössä kaksi erilaista mallia autopaikoitustilan perusilmanvaihdon järjestämisestä. Pääkaupunkiseudun Prismoissa käytetään myymälän koneiden ilmaa autopaikoitustilan tuloilmana, kun taas Prisma Linnainmaalla autopaikoitustilan ilmanvaihto on järjestetty kokonaan pelkästään autopaikoitustilaa palvelevilla ilmanvaihtokoneilla. Seuraavana on esitetty yksinkertaistetut kuvat molemmista järjestelmäratkaisuista.



Kuva 18. Prisma Kannelmäen ja Prisma Itäkeskuksen autopaikoitustilan ilmanvaihtojärjestelmä yksinkertaistettuna.



Kuva 19. Prisma Linnainmaan autopaikoitustilan ilmanvaihtojärjestelmä yksinkertaistettuna.

Kuvassa 18 on esitetty Prisma Kannelmäen ja Prisma Itäkeskuksen autopaikoitustilan ilmanvaihtojärjestelmä yksinkertaistettuna. Tämänkaltaisen järjestelmän etuna on, että myymälän ilmanvaihtokoneiden ilma voidaan käyttää autopaikoitustilan tuloilmana. Järjestelyn avulla kohteessa tarvittavien puhaltimien määrä pienenee, ja lisäksi lämmöntalteenotto järjestyy myymälän koneella, jossa voidaan käyttää pyörivää lämmöntalteenottoroottoria. Lämmöntalteenoton hyötysuhde on erittäin hyvä, joka tarkoittaa sitä, että talvella autopaikoitustilaan puhallettavaa ilmaa tulee jälkilämmittää. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, koska lämmitykseen voidaan käyttää esimerkiksi myymälän kylmäkoneiden lauhdelämpöä. Ongelmana tämän tyyppisessä järjestelmässä on, että autopaikoitustilan tarpeenmukainen ilmanvaihto on vaikeampi järjestää. Prisma Itäkeskuksessa tarpeenmukainen ilmanvaihto on mahdollista puhaltamalla tarpeeton osa ilmasta suoraan rakennuksesta ulos, mutta Prisma Kannelmäessä kaikki myymälän koneiden poistoilma kulkeutuu autopaikoitustilan kautta. Tämä tietenkin tarkoittaa sitä, että myös autopaikoitustilasta ilmaa poistavien aksiaalipuhaltimien täytyy poistaa kaikki autopaikoitustilaan tuotava ilma. Näiden puhaltimien käyttö aiheuttaa turhaa energiankulutusta, jos autopaikoitustila ei kaipaakaan ilmanvaihtoa.

Kuvan 19 mukainen järjestely on käytössä Prisma Linnainmaalla. Tämän järjestelmän ehdottomana etuna verrattuna kuvan 18 mukaiseen järjestelyyn on se, että autopaikoitustilan ilmanvaihto on erittäin helppo säätää tarpeenmukaiseksi. Prisma Linnainmaan järjestelmän heikkoutena taas on sen lämmitysenergian kulutus, koska nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhde ei ole yhtä hyvä kuin roottorilla varustetun järjestelmän hyötysuhde. Tämä ero korostuu entisestään, kun järjestelmää käytetään mitoitusilmavirtaa pienemmillä ilmavirroilla eli silloin, kun autopaikoitustilan käyttöaste on pieni. [28.]

8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä suuntapainepuhallinjärjestelmällä toteutettujen autopaikoitustilojen ilmanvaihtojärjestelmiin. Työssä perehdyttiin neljän Prismen ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmiin ja kohteista laadittiin järjestelmäkuvaukset. Työn tilaajaa kiinnostaa suuntapainepuhallinjärjestelmien ominaisuudet kanavoituun järjestelmään verrattuna. Kohteiden automaatiojärjestelmien avulla saatiin kerättyä tietoa eri järjestelmän osien toiminnoista, joiden perusteella laskettiin järjestelmien puhaltimien energiankulutusta ja arvioitiin autopaikoitustilojen ilman laatua pitoisuus- ja lämpötilamittausten perusteella.

Puhallinten energiankulutuksen selvittäminen osoittautui työn vaikeimmaksi osuudeksi. Kaikkea tarvittavaa tietoa ei ollut saatavilla ja lisäksi järjestelmien monimutkaisuudesta johtuen ei tämän insinööriyön puitteissa ollut mahdollista laskea tarkkoja energiankulutuksia. Lisäksi Prisma Itäkeskuksen datankirjoitusongelmista johtuvat puutteet aiheuttivat sen, että kyseistä kohdetta ei kannattanut ottaa mukaan vertailuun. Tämä ilmeni liian myöhäisessä vaiheessa, joten tiedot päätettiin säilyttää tässä raportissa. Järjestelmien toiminnasta saatiin kuitenkin tarpeeksi kattava kuva, jotta voidaan todeta suuntapainepuhallinjärjestelmän soveltuvan erinomaisesti suljetun autopaikoitustilan ilmanvaihtojärjestelmäksi. Suuntapainepuhallinjärjestelmän integrointi rakennuksen muuhun ilmanvaihtojärjestelmään on erinomaisen tärkeitä, kun halutaan saavuttaa paras mahdollinen energiatehokkuus. Nykyaikaisissa järjestelmissä automaation rooli energiansäästön kannalta korostuu ja sen vuoksi järjestelmän suunnitteluun ja käytännön ohjausten toteutukseen tulisi paneutua mahdollisimman huolellisesti.

Tämän insinööriyön pohjalta olisi mahdollista laajentaa tutkimusta koskemaan koko ilmanvaihtojärjestelmää, jos tarkasteluun sisällytetään myös lämmitysenergian kulutus. Mahdollisimman tehokkaan lämmöntalteenottojärjestelmän ja tarkasti harkitun automaation avulla olisi mahdollista päästä vielä nykyisiä järjestelmiä parempaan energiatehokkuuteen. Yhtenä vaihtoehtona olisi harkita suuntapainepuhaltimien

käynnistymisen raja-arvon laskemista vielä nykyisiä alhaisemmaksi ja samalla pienentää pääpuhaltimien ilmavirtoja. Työn tuloksena voidaan kuitenkin todeta, että suuntapainepuhaltimet ovat hyvin pienessä osassa ilmanvaihdon energiankulutusta verrattuna järjestelmien pääpuhaltimiin. Suuntapainepuhallinjärjestelmän edut kanavoituun järjestelmään verrattuna tulevat tämän insinöörityön avulla hyvin esille.

Fläkt Woods Oy:ssä tullaan jatkossakin tutkimaan suuntapainepuhaltimien toimintaa järjestelmän yleistyessä, ja tämä työ luo hyvän pohjan tulevaisuudessa tehtäville selvityksille. Tämä insinöörityö voi myös toimia oppaana henkilölle, joka ei ole aiemmin perehtynyt suuntapainepuhallinjärjestelmiin.

Lähteet

- 1 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2003.
- 2 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. HTP-arvot 2007. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö, 2007.
- 3 Kontkanen, Antti. LVI-insinööri, Fläkt Woods Oy, Espoo. Keskustelu 6.9.2010.
- 4 Car Park Ventilation. (WWW-dokumentti.) Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.fi/ff9d2313-7f23-4906-90c1-8a56162aa221>>. 2009. Luettu 5.8.2010.
- 5 Fläkt Woods Oy, asiakaslehti. (WWW-dokumentti.) Fläkt Woods Oy. <<http://asiakaslehti.flaktwoods.fi/2008-2/#/14/>>. 2008. Luettu 21.6.2010.
- 6 Koja Oy. Prisma Itäkeskuksen luovutuskansio. Luettu 22.3.2010.
- 7 AIRIX Talotekniikka Oy. Prisma Itäkeskuksen ilmanvaihtojärjestelmän säätökaaviot. 2009. Luettu 22.3.2010.
- 8 SX422p-hiilimonoksidianturin datalehti. (WWW-dokumentti.) Sensorex Oy. <<http://www.sensorex.fi/Pdf/SX422p%20PAK%20CO%20fin.pdf>>. Luettu 30.6.2010.
- 9 Suomen Talokeskus Oy. Prisma Kannelmäen ilmanvaihtojärjestelmän säätökaaviot. 2009. Luettu 17.9.2010.
- 10 Suomen Talokeskus Oy. Prisma Kannelmäen ilmanvaihtojärjestelmän kojeluettelo. 2008. Luettu 17.9.2010.
- 11 Kimessa AG GSE 507 -hiilimonoksidianturin datalehti. (WWW-dokumentti.) Stig Wahlström Oy. <<http://www.swoy.fi/?file=163>>. Luettu 3.9.2010.
- 12 Kangas, Riitta. Tampereen Linnainmaan Prisma on perhemarket. Projekti Uutiset. 5/2009, s. 20-22.
- 13 Fläkt Woods Oy. Prisma Linnainmaan CFD-raportti. 2008. Luettu 19.7.2010.
- 14 Fläkt Woods Oy. Prisma Linnainmaan ilmanvaihtokoneiden mitoitus, Acon-ohjelmalla. 2008. Luettu 9.8.2010.

- 15 Fläkt Woods Oy. Prisma Linnainmaan aksiaalipuhaltimien mitoitus, Fan Selector – ohjelmalla. 2008. Luettu 9.8.2010.
- 16 Avaco Systems DGTt2-hiilimonoksidianturin datalehti. (WWW-dokumentti.) Sensing Oy. < <http://www.detector.fi/WebRoot/457341/Products.aspx?id=457357>>. Luettu 1.9.2010.
- 17 Siemens Building Technologies. Prisma Linnainmaan automaatiojärjestelmän luovutuskansio. 2009. Luettu 27.4.2010.
- 18 Pentti, Rauno. Vihreän Viikin Prisma. Projekti Uutiset. 6/2007, s. 76-77.
- 19 Suomen Talokeskus Oy. Prisma Viikin ilmanvaihtojärjestelmän kojeluettelo. 2007. Luettu 17.9.2010.
- 20 HMLe-hiilimonoksidianturin datalehti. (WWW-dokumentti.) Produal Oy. <www.produal.com/files/1076_HMLe.pdf>. Luettu 17.9.2010.
- 21 Suomen Talokeskus Oy. Prisma Viikin ilmanvaihtojärjestelmän säätökaaviot. 2007. Luettu 17.9.2010.
- 22 Sipinen, Antti. Huoltomies, Luja-Palvelut, Helsinki. Puhelinkeskustelu 19.3.2010.
- 23 Selenius, Jarmo. Huoltomies, RTK-palvelut, Helsinki. Keskustelu 24.3.2010.
- 24 Saarinen, Ari. Huoltopäällikkö, Pirkanmaan Osuuskauppa, Tampere. Puhelinkeskustelu 8.4.2010.
- 25 Puhallintekninen käsikirja. Fläkt Woods Oy. Espoo. 2008
- 26 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö, 2007.
- 27 Ilmankäsittelykoneet 2010. Tekninen käsikirja. Turku: Fläkt Woods Oy. 2010.
- 28 Kontkanen, Antti. LVI-insinööri, Fläkt Woods Oy, Espoo. Keskustelu 24.9.2010.

[illegible]

		Autohallin tulot												Autohallin poistot											
		1.1PK			1.2PK			2.1PK			2.2PK			PF1.1			PF1.2			PF1.3					
Aika		Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia			
-----		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh			
21.06.10.06:45	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0,00			
21.06.10.06:50	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0,00			
21.06.10.06:55	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0,00			
21.06.10.07:00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0,00			
21.06.10.07:05	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0,00			
21.06.10.07:10	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	44 %	0,94			
21.06.10.07:15	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	56 %	1,93			
21.06.10.07:20	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	0,00	44 %	0,94	0,08	44 %	0,94	0,08	60 %	2,38	0,20				
21.06.10.07:25	81 %	7,97	0,66	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	56 %	1,93	1,16	56 %	1,93	1,16	59 %	2,26			
21.06.10.07:30	80 %	7,68	0,64	0 %	0,00	0,00	0 %	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	60 %	2,38	0,20	60 %	2,38	0,20	60 %	2,38			
21.06.10.07:35	80 %	7,68	0,64	0 %	0,00	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	59 %	2,26	1,19	59 %	2,26	0,19	60 %	2,38	0,20				
21.06.10.07:40	80 %	7,68	0,64	0 %	0,00	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	60 %	2,38	0,20	60 %	2,38	0,20	76 %	4,83	0,40				
21.06.10.07:45	80 %	7,68	0,64	0 %	0,00	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	61 %	2,50	0,21	61 %	2,50	0,21	90 %	8,02	0,67				
21.06.10.07:50	80 %	7,68	0,64	0 %	0,00	0,00	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	75 %	4,64	0,39	76 %	4,83	0,40	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.07:55	80 %	7,68	0,64	83 %	8,58	0,71	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	90 %	8,02	0,67	90 %	8,02	0,67	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.08:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.09:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.10:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92				
21.06.10.11:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92</				

Liite 1: Esimerkki laskentataulukosta

		Autohallin tulot												Autohallin poistot											
		1.1PK			1.2PK			2.1PK			2.2PK			PF1.1			PF1.2			PF1.3					
Aika		Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia			
		kw	kw	kWh	kw	kw	kWh	kw	kw	kWh	kw	kw	kWh	kw	kw	kWh	kw	kw	kWh	kw	kw	kWh			
21.06.10 13:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 13:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 13:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 13:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 13:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 13:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	68 %	4,72	0,39	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	99 %	10,67	0,89	99 %			
21.06.10 14:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	99 %	10,67	0,89	99 %	10,67	0,89	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	65 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	65 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 14:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	99 %	10,67	0,89	99 %			
21.06.10 14:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	71 %	5,37	0,45	99 %	10,67	0,89	99 %	10,67	0,89	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	69 %	4,93	0,41	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	99 %	10,67	0,89	99 %			
21.06.10 15:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	98 %	10,35	0,86	98 %			
21.06.10 15:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	97 %	10,04	0,84	97 %	10,04	0,84	98 %	10,35	0,86	98 %			
21.06.10 15:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	65 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	65 %	4,31	0,36	98 %	10,35	0,86	98 %	10,35	0,86	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	99 %	10,67	0,89	99 %			
21.06.10 15:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	99 %	10,67	0,89	99 %	10,67	0,89	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 15:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	67 %	4,53	0,38	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	70 %	5,15	0,43	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 16:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	99 %	10,67	0,89	99 %			
21.06.10 17:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	67 %	4,51	0,38	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:05	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	99 %	10,67	0,89	99 %	10,67	0,89	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:10	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	69 %	4,93	0,41	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:15	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	69 %	4,99	0,41	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	97 %	10,04	0,84	97 %			
21.06.10 17:20	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:25	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	68 %	4,72	0,39	97 %	10,04	0,84	97 %	10,04	0,84	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:30	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:35	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:40	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:45	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:50	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	70 %	5,15	0,43	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 17:55	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	65 %	4,31	0,36	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %	11,00	0,92	100 %			
21.06.10 18:00	80 %	7,68	0,64	80 %	7,68	0,64	66 %	4,31	0,36	66 %</															

		Autohallin tulot												Autohallin poistot											
		1.1PK			1.2PK			2.1PK			2.2PK			PF1.1			PF1.2			PF1.3					
Aika		Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia	Säästö	Teho	Energia			
-----		kW	kWh		kW	kWh		kW	kWh		kW	kWh		kW	kWh		kW	kWh		kW	kWh				
21.06.10 20:15	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:20	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:25	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:30	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:35	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:40	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:45	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:50	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 20:55	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 21:00	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	100	%	11,00	0,92	100	%	11,00	0,92	
21.06.10 21:05	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	65	%	3,02	0,25	67	%	3,31	0,28	
21.06.10 21:10	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	59	%	2,26	0,19	59	%	2,26	0,19	
21.06.10 21:15	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	66	%	4,31	0,36	21	%	0,10	0,01	21	%	0,10	0,01	
21.06.10 21:20	80	%	7,68	0,64	80	%	7,68	0,64	66	%	4,31	0,36	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:25	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:30	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:35	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:40	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:45	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:50	0	%	0,00	0,00	80	%	7,68	0,64	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 21:55	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:05	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:10	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:15	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:20	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:25	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:30	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:35	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:40	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:45	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:50	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 22:55	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:05	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:10	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:15	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:20	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:25	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:30	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:35	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:40	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:45	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:50	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
21.06.10 23:55	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	0	%	0,00	0,00	
Summa			107,54			107,59			59,66			60,67			146,13			146,17			146,17			146,17	